



**ANÁLISIS DESDE LA PERSPECTIVA DE AMENAZAS
SOCIAMBIENTALES DE UNA MINA DE ORO A CIELO ABIERTO:
CASO DE ESTUDIO LA COLOSA, CAJAMARCA (TOLIMA)**

Elaborado por el GRUPO DE INVESTIGACIÓN GEOAMBIENTAL TERRAE

**Julio Fierro Morales, Geólogo MSc. Geotecnia
Andrés E. Ángel Huertas, Geólogo M.A. Gestión Pública y Gobernanza
Andrés Castillo Ortegón, Ing. civil Esp. Recursos hidráulicos
Eduardo Quintero Chavarría, Ing. civil MSc Geofísica (A)
Ana María Llorente Valbuena, Ing. ambiental MSc Geomática (A)
Erika Cuida López, Geóloga**

Febrero de 2016

Quebrada La Colosa. **Fotografía:** Andrés Angel H

ANÁLISIS DESDE LA PERSPECTIVA DE AMENAZAS SOCIAMBIENTALES DE UNA MINA DE ORO A CIELO ABIERTO: CASO DE ESTUDIO LA COLOSA, CAJAMARCA (TOLIMA)

Elaborado por el GRUPO DE INVESTIGACIÓN GEOAMBIENTAL TERRAE

Julio Fierro Morales, Geólogo MSc. Geotecnia
Andrés E. Ángel Huertas, Geólogo M.A. Gestión Pública y Gobernanza
Andrés Castillo Ortegón, Ing. civil Esp. Recursos hidráulicos
Eduardo Quintero Chavarría, Ing. civil MSc Geofísica (A)
Ana María Llorente Valbuena, Ing. ambiental MSc Geomática (A)
Erika Cuida López, Geóloga

Febrero de 2016

ÍNDICE

ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS.....	7
GLOSARIO	8
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO LA COLOSA	14
1.1. La empresa AngloGold Ashanti (AGA).....	14
1.2. El proyecto minero La Colosa.....	14
1.2.1 Localización y características del yacimiento.....	14
1.2.2 Localización de estructuras mineras del proyecto La Colosa.....	16
1.2.3 Contratos mineros y sustracción de la Reserva Forestal Central (Ley 2ª de 1959)	18
1.3 Fases mineras en La Colosa.....	20
1.3.1 Fase minera en ejecución en La Colosa: la exploración	21
1.3.2 Fase minera que se desarrollaría a futuro en La Colosa: la explotación.....	21
2. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA, HIDROGEOLÓGICA E HIDROLÓGICA DE LA ZONA DE CONSTRUCCIÓN E INFLUENCIA DEL PROYECTO.....	25
2.1 Geología del yacimiento La Colosa.....	26
2.1.2. Geología Estructural.....	27
2.2. Suelos del área de La Colosa.....	28
2.3. Aspectos hidrogeológicos.....	30
2.3.1. Relación entre agua subterránea y agua superficial	32
2.4. Aspectos climáticos	33
2.4.1. Precipitación	33
2.4.2. Temperatura	33
2.4.3. Evapotranspiración	34
2.4.4. El Niño Oscilación del Sur (ENOS).....	34
2.5. Hidrología.....	34
2.5.1. Caudales	34
2.5.2. Balance hídrico.....	35
2.5.3. Ciclo anual de caudales considerando ENOS	36
2.6. Conclusiones	36
3. AMENAZAS	37
3.1. Escenario de amenaza general: Eventual ruptura de la presa de relaves	38
3.2. La amenaza sísmica	40
3.3. Amenazas sobre el agua.....	41
3.3.1. Indicios de contaminación por la exploración.....	41
3.4. Amenazas en caso de desarrollarse el proyecto.....	45
3.4.1. Drenaje ácido de mina y liberación de metales pesados	45
3.4.2. Cianuro y otros tóxicos usados en el proceso minero	49
3.4.3. Disponibilidad y calidad del agua subterránea.....	51
3.4.4. Desabastecimiento y alteración del ciclo del agua.....	52
3.4.5. Ejemplos de afectación de aguas	54
3.4.5.1. La mina de oro Geita de AGA en Tanzania.....	54
3.4.5.2. La mina de oro de Crixas de AGA en Goias (Brasil).....	54
3.5. Contaminación del aire	55
3.5.1. Material particulado	55
3.5.2. Cianuro de hidrógeno (HCN)	56

3.5.3.	Consideraciones respecto a la amenaza de contaminación del aire que constituiría la entrada en operación del proyecto La Colosa.....	57
3.6.	Afectación de suelos agroecológicamente productivos.....	57
3.6.1.	Los Andisoles	57
3.6.2.	Contaminación de suelo y alimentos en Ghana	58
4.	CONCLUSIONES	59
5.	REFERENCIAS CITADAS	61

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PRESENCIA DE AGA A NIVEL MUNDIAL. MODIFICADO DE AGA (2014). ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN HTTP://WWW.ANGLOGOLDSHANTI.COM.CO/NUESTRONEGOCIO/PAGINAS/PERFILCORPORATIVO.ASPX	14
FIGURA 2. LOCALIZACIÓN GENERAL DE PROYECTO DE LA COLOSA, CON LAS ÁREAS DE AFECTACIÓN DIRECTA EN COLOR ROJO. ELABORACIÓN PROPIA.....	15
FIGURA 4. ÁREA SOLICITADA PARA SUSTRACCIÓN POR AGA (EN MAGENTA) EN 2008 QUE SUMA 515 HA. EL MINISTERIO DE AMBIENTE SUSTRAJÓ 6,39 HA QUE CORRESPONDEN A LAS PLATAFORMAS DE PERFORACIÓN DE LOS POZOS QUE SE VEN EN PUNTOS AMARILLOS. FUENTE: MADS, 2015. ELABORACIÓN PROPIA	19
FIGURA 5. ÁREA EN SOLICITUD PARA SUSTRACCIÓN (EXPEDIENTE SRF 0343), LA CUAL NO HA SIDO OTORGADA.....	20
FIGURA 6. PERFIL DE LA COLOSA.....	23
FIGURA 7. CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN ROCAS EN LA REGIÓN DE IBAGUÉ – CAJAMARCA SOBRE CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DEL SGC A ESCALA 1:1.230.000. SE INDICA LA PRESENCIA Y CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO COELLO Y EN PARTICULAR EN LA ZONA DE LA COLOSA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN DATOS DE BOTERO (1975) Y MAPA DE SGC (2015).....	27
FIGURA 8. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE UN MEDIO POROSO (IZQUIERDA) Y UN MEDIO FRACTURADO (DERECHA). FUENTE: HTTP://DRANNABALOG.COM/INTERNET/FIG2-5.GIF	30
FIGURA 9. CICLO ANUAL DE CAUDALES PARA LAS CUENCAS PRESENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO.	35
FIGURA 10. CURVAS DE DURACIÓN DE CAUDALES PARA LAS CUENCAS PRESENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO.	35
FIGURA 11. CICLO ANUAL DE CAUDALES PARA LA ESTACIÓN PTE. LA BOLÍVAR.....	36
FIGURA 12. COMPARACIÓN DE PERFILES DE ELEVACIÓN DE LOS TRANSECTOS: QUEBRADA LA COLOSA – MAR CARIBE (ROJO) Y PRESA DE RELAVES BENTO RODRIGUES – OCÉANO ATLÁNTICO PERFILES GENERADOS EN GOOGLE EARTH.	39
FIGURA 13. CLASIFICACIÓN DE LOS CASOS REPORTADOS EN EL BOLETÍN 121 DEL ICOLD DE ACUERDO CON EL TIPO DE MATERIAL REPRESADO Y LA CAUSA DEL INCIDENTE. ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN ICOLD (2001).....	39
FIGURA 14. INFRAESTRUCTURA DE LA COLOSA A 2045 (CON BASE EN PRESENTACIÓN DE AGA AL CONCEJO DE IBAGUÉ) Y MARCO TECTÓNICO (BASADO EN OSORIO ET AL., 2008 Y EN GÓMEZ ET AL., 2015).....	¡Error! Marcador no definido.
FIGURA 15. REDES DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA.....	42
FIGURA 16. VALORES DE PH EN AGUAS SUPERFICIALES FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN DATOS DE ÁNGEL, 2012, GREYSTAR, 2009 Y SSI, 2012	47
FIGURA 17. CONCENTRACIÓN DE AS EN AGUAS SUPERFICIALES FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN DATOS DE ÁNGEL, 2012, GREYSTAR, 2009 Y SSI, 2012.....	47
FIGURA 18. VALORES DE PH EXTREMO TOMADOS DE REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y DE TRABAJO DE CAMPO EN ZONAS	48
FIGURA 19. VALORES DE CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN ZONAS MINERAS EN DIFERENTES PARTES DEL MUNDO EN RELACIÓN CON NORMAS OMS (Y PARA EL ZINC, NORMA DE PARAGUAY). ELABORACIÓN PROPIA.....	48
FIGURA 20. DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES MEDIOS POR ACTIVIDADES EN LA QUEBRADA LA GUALA CONSIDERANDO: (A) EXPLORACIÓN AGA (B)EXPLOTACIÓN AGA . FUENTE: CORTOLIMA. (2009). POMCA-RÍO COELLO . ELABORACIÓN PROPIA.....	¡Error! Marcador no definido.

FIGURA 21. SERIE DE CAUDALES MEDIOS PARA LA ESTACIÓN PTE. LA BOLIVAR (2121728). LA FRANJA MAGENTA CORRESPONDE AL CAUDAL DE UNA EVENTUAL ETAPA DE EXPLOTACIÓN DE AGA. ELABORACIÓN PROPIA.....53

FIGURA 22. CICLO ANUAL DE CAUDALES PARA LAS QUEBRADAS LA GUALA, LA ARENOSA Y LA COLOSA.. ELABORACIÓN PROPIA.....54

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. GENERACIÓN DE DESECHOS MINEROS. 24

TABLA 2. CARACTERÍSTICAS COMPOSICIONALES E HIDRÁULICAS DE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS EN LA COLOSA. 31

TABLA 3. BALANCE HIDRÍCO PARA LAS CUENCAS PRESENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO. 35

TABLA 4. CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE PIRITA (PY) Y ÁCIDO SULFÚRICO ASOCIADA AL PROYECTO AURÍFERO LA COLOSA. **¡Error! Marcador no definido.**

TABLA 5. VALORES DE REFERENCIA DE METALES PESADOS Y METALOIDES TÍPICOS DE DAM..... 48

TABLA 6. ESTUDIOS DE CASO DE DERRAMES DE CIANURO. RELACIONADOS CON EMPRESAS SUSCRIPTORAS DEL CÓDIGO INTERNACIONAL DE MANEJO DE CIANURO..... 50

TABLA 7. CÁLCULO DE ÁREAS QUE AFECTARÍA LA COLOSA POR REMOCIÓN O POR SEPULTAMIENTO DE ANDISOLES. 58

ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

AGA: AngloGold Ashanti

ANFO: Nitrato de Amonio Combustible (Ammonium Nitrate – Fuel Oil)

ANLA: Agencia Nacional de Licencias Ambientales

ANM: Agencia Nacional de Minería

ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

CIP: Carbón en pulpa (Carbon in pulp)

CPC/NOAA: Centro de predicción del Clima de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (Climate Prediction Center of the National Oceanic and Atmospheric Administration).

EIA: Estudio de Impacto Ambiental

ENOS: El Niño Oscilación del Sur

FAO: Organización para la Agricultura y la Alimentación (Food and Agriculture Organization)

GCA: Guías de Calidad del Aire

ICA: Informe de Cumplimiento Ambiental

ICOLD: Comisión Internacional de Grandes Presas

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

INAP: The International Network for Acid Prevention

MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

MAVDT: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

OMS: Organización Mundial de la Salud.

ONI: Oceanic Niño Index

PISA: Política Integral de Salud Ambiental

PM: Estación Pluviométrica

PMA: Plan de Manejo Ambiental

PG: Estación Pluviográfica

ppm: partes por millón

PTO: Plan de Trabajos y Obras

RFC: Reserva Forestal Central

SIG: Sistema de Información Geográfica

STRM: Shuttle Radar Topography Mission

UNALMED: Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.

UNEP: United Nations Environment Programme

UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

UNOPS: United Nations Office for Project Services

GLOSARIO¹

Acuicludo: Roca con valores muy bajos de conductividad hidráulica, la cual aunque bien puede estar saturada de agua subterránea, es casi impermeable con respecto al flujo de agua subterránea. Este tipo de rocas actúa como barrera a los acuíferos y puede formar estratos confinantes.

Acuífero: Son capas de roca o depósitos o zonas de roca muy fracturadas que permiten la entrada, la acumulación y el flujo rápido de aguas en escala de tiempo de la vida humana (1×10^{-1} a 1×10^{-6} m/seg). Esto significa que en una vida humana promedio el recorrido del agua subterránea entre el acuífero con estas velocidades de flujo puede ser de miles de kilómetros.

Acuitardos: Son capas de roca o depósitos o zonas de roca moderadamente fracturadas que permiten la entrada, acumulación y el flujo de aguas en velocidades considerables en tiempos ecosistémicos (1×10^{-6} a 1×10^{-12} m/seg). La más baja velocidad de flujo mostrada permitiría que una gota de agua avanzara cerca de 100 km en 10.000 años.

Agua de contacto: agua generalmente ácida que drena desde las áreas mineras.

Agua higroscópica: Agua adsorbida de la atmósfera y retenida por las partículas de suelo que como resultado no se encuentra disponible para las plantas en cantidad suficiente para su supervivencia.

Agua gravitacional: Agua que se mueve a través del suelo bajo la influencia de la gravedad.

Alcalinidad: Medida de la capacidad del agua para neutralizar ácidos. Un ejemplo es añadiendo cal a un lago para disminuir su acidez.

Alofana: Mineral de arcilla amorfo, no cristalino del grupo de la caolinita (silicato de aluminio hidratado).

Alteración: Cambio producido en una roca por acción química o física.

Andosol / Andisol: Grupo de suelos derivados de materiales volcánicos, reconocidos dentro de la taxonomía de la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

Anfibolita: Roca compuesta principalmente por hornblenda y plagioclasa producto de metamorfismo regional caracterizada por un alineamiento bien desarrollado de los cristales elongados que la componen.

Área fuente: Es una determinada zona o región, urbana, suburbana o rural, que por albergar múltiples fuentes fijas de emisión, es considerada como un área especialmente generadora de sustancias contaminantes del aire.

Arsénico: Elemento ampliamente distribuido en la corteza terrestre, clasificado químicamente como un metaloide, con propiedades tanto de metal como de elemento no metálico. El arsénico elemental es un material sólido de color gris acero. Sin embargo, en el ambiente el arsénico generalmente se encuentra combinado con otros elementos como por ejemplo oxígeno, cloro y azufre. El arsénico combinado con estos elementos se conoce como arsénico inorgánico.

Bario: Metal blanco-plateado que existe en el ambiente solamente en minerales que contienen mezclas de elementos. Se combina con otras sustancias químicas, por ejemplo azufre, carbono y

¹ Este glosario fue construido con base en las siguientes fuentes: A Dictionary of Earth Sciences (U. Oxford, 2008), Chemical fundamentals of Geology and Environmental Geoscience (Gill, 2015), Atlas Climatológico Nacional (IDEAM, 2011), Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), Instituto Nacional para el Manejo del Cianuro (2012), Hydrogen Cyanide and Cyanides: Human Health Aspects (OMS, 2005), Environmental Protection Agency (EPA).

oxígeno, para formar compuestos de bario. Los compuestos de bario son usados por la industria para fabricar lodos de perforación.

Beneficio minero: Proceso físico o físico-químico para separar el metal de interés de la roca que lo contiene.

Botadero: Montañas artificiales en las cuales se disponen lo que se denomina como “desecho de roca”, es decir la roca que no se encuentra mineralizada y que por consiguiente no hará parte del proceso de beneficio del mineral objetivo.

Cauce efluente: Curso de agua superficial (río, arroyo, quebrada etc.) que recibe aportes de agua subterránea por parte de las unidades de roca adyacentes al mismo.

Cauce independiente: Curso de agua superficial (río, arroyo, quebrada etc.) que no tiene relación (al menos significativa) con el agua subterránea circundante, es decir, que no se ve recargado por ésta ni recarga las unidades de roca adyacentes de agua superficial.

Cauce influente: Curso de agua superficial (río, arroyo, quebrada etc.) que aporta parte de su cauce a las unidades de roca adyacentes, recargándolas.

Cianuro: se refiere de manera general a compuestos que contienen un grupo CN (un átomo de carbono por uno de nitrógeno). El término cianuro se utiliza también para referirse a las sales y compuestos de cianuro con una serie de metales en sólidos y soluciones.

Cianuro de hidrógeno: El cianuro de hidrógeno (HCN) es un líquido altamente volátil y considerado como un ácido muy débil, soluble en agua y alcohol.

Cianuro libre: El ión de cianuro no complejo (CN⁻) y cianuro de hidrógeno gaseoso o acuoso (HCN).

Cianuro total: Medida de concentración de cianuro que incluye todo el cianuro libre, todos los complejos de cianuro WAD y todos los cianuros metálicos fuertes.

Cianuro WAD: Especies de cianuro liberadas con un pH moderado (pH 4,5) como HCN y CN acuosos, la mayoría de los complejos de Cu, Cd, Ni, Zn, Ag y otros con constantes de disociación baja similares.

Ciclo anual: Se refiere a la representación del comportamiento medio anual de una variable en específico, para un determinado periodo multianual.

Ciclo hidrológico: Relación de movimiento continuo y cíclico del agua en el planeta donde el agua puede cambiar su estado entre líquido, vapor y hielo en varias etapas del ciclo. Los procesos físicos dominantes sobre este ciclo son: precipitación, evaporación, transpiración; evapotranspiración, infiltración y escorrentía.

Coficiente (o capacidad) de almacenamiento: Razón que expresa el volumen de agua cedido por unidad de volumen abatido en un acuífero. Se trata de un factor adimensional siempre menor que 1.

Conductividad eléctrica: Medida de la capacidad de una solución en llevar una corriente eléctrica.

Conductividad hidráulica: Término equivalente a permeabilidad, es decir, capacidad de una roca, sedimento o suelo para permitir el flujo.

Coliformes fecales: Grupo de microorganismos en que la *Escherichia coli* de origen fecal, representa una elevada proporción. Su identificación se basa en la fermentación de la lactosa con formación de gas en medios selectivos incubados a una temperatura estrictamente controlada.

Coliformes totales: Incluye una amplia variedad de bacilos aerobios y anaerobios capaces de proliferar en presencia de concentraciones relativamente altas de sales biliares fermentando la lactosa y produciendo ácido o aldehído en 24 h a 35–37 °C.

Cuarcita: Roca metamórfica compuesta principalmente de cuarzo y usualmente formada por metamorfismo de cuarzoarenitas.

Cuenca: Área definida por la topografía presente, drenada por un cauce o un sistema inter conectado de cauces de tal modo que el caudal sale por un punto definido conocido como punto de concentración, esta se considera como la unidad de evaluación para el ciclo hidrológico.

Curvas de duración de caudales (CDC): Herramienta que permite dar un diagnóstico rápido del caudal presente a lo largo del tiempo, cuando se refiere a la probabilidad de ser igualado o excedido se puede referir al caudal asociado a ese porcentaje, por ejemplo el caudal del 100% asociado a X m³/s, de lo cual se puede afirmar que se puede afirmar que el 100% del tiempo hay un caudal de X m³/s.

Diaclasa: Fractura discreta en una roca y sobre la cual ha habido poco o ningún movimiento paralelo al plano de fractura pero algún movimiento (perceptible) normal a él.

Drenaje ácido de mina (DAM): Aguas provenientes de zonas mineras (generalmente de metales y carbón) las cuales se caracterizan por tener valores de pH bajos a muy bajos (menor a 6, según la INAP), y alta concentración de sulfatos y metales pesados.

Esquisto: Roca producto de metamorfismo regional de composición pelítica que exhibe esquistosidad (alineamiento planar de micas, anfíboles y otros minerales).

Estación Climatológica Ordinaria (CO): Estación meteorológica que registra precipitación, humedad relativa y temperaturas.

Estación Climatológica Principal (CP): Estación meteorológica que registra nubosidad, estado del suelo, precipitación, temperatura del aire, humedad, viento, radiación solar, brillo solar, evaporación.

Estación Limnimétrica (LM): Estación hidrológica que registra de caudales de manera continua.

Estación pluviográfica: Estación meteorológica que registra en forma continua la precipitación, en una gráfica que permite conocer la cantidad, duración e intensidad de la lluvia.

Estación pluviométrica: Estación meteorológica que consiste en un pluviómetro que permite medir la precipitación entre dos observaciones consecutivas.

Evapotranspiración: Este proceso está compuesto por evaporación (cambio de fase del agua de fase líquida a vapor o vaporización de agua) y transpiración (vaporización del agua al interior de los estomas de la planta y su posterior expulsión hacia la atmósfera).

Falla geológica: Fractura en un cuerpo de roca causada por la rotura del material y sobre la cual se observa un desplazamiento relativo entre los bloques separados por dicha superficie.

Infraestructura minera: Se refiere a las instalaciones necesarias para la ejecución de un proyecto minero. Contempla campamentos, áreas administrativas, islas de suministro de combustible, casinos y demás.

Intrusión: Cuerpo de roca usualmente ígneo emplazado dentro de rocas preexistentes mediante ascenso de magma.

Magnetometría: método de exploración geofísica que permite diferenciar los materiales que componen el subsuelo a partir de la medición de la susceptibilidad magnética (respuesta a un campo magnético natural) de cada uno de estos materiales.

Material particulado: Término empleado para partículas sólidas o líquidas que se encuentran en el aire. Algunas partículas son grandes y otras tan pequeñas que pueden ser detectadas únicamente con un microscopio electrónico. Debido a que las partículas se originan a partir de una variedad de fuentes móviles y fijas, su química y composiciones físicas varían ampliamente.

Meteorización: Proceso de pérdida de propiedades de las rocas sobre y bajo la superficie terrestre por causa de procesos físicos y químicos. Esencialmente se trata de la respuesta de los materiales terrestres a bajas temperaturas y presiones y a la presencia de aire y agua, elementos no típicos del ambiente de formación de éstos.

Molienda: Proceso posterior a la trituración que reduce los fragmentos rocosos de 2 mm a cerca de 100 micras (tamaño cercano al grueso del cabello humano).

Parámetros hidrogeológicos: Características hidrogeológicas cuantificables de las rocas. Incluyen conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento y transmisividad.

Petrología: Estudio de las rocas en general, incluyendo su ocurrencia, relaciones de campo, estructura, orígenes e historia, y su mineralogía y textura.

pH: Forma en la cual se expresa que tan ácida es una sustancia con base en la concentración de iones hidronio (H⁺). Cuando el pH de una solución es menor a 7, indica que la concentración de iones H⁺ en dicha solución es mayor que el del agua destilada (la solución es ácida) mientras que si el pH es mayor a 7 indica que la concentración de OH⁻ es mayor que en el agua destilada (la solución es básica o alcalina) sin olvidar que la escala es logarítmica y por lo tanto el paso de un valor a otro implica un cambio de orden de magnitud y no de unidad.

Piroclástico: Término aplicado para rocas volcánicas conformadas por partículas fragmentadas, generalmente generadas a partir de erupciones explosivas.

Planta de metalurgia: Área donde se desarrollan procesos físico-químicos con el fin de obtener metales contenidos en una roca.

PM₁₀ (Material Particulado Menor a 10 Micras): Material particulado con un diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micrómetros nominales.

PM_{2.5} (Material Particulado Menor a 2,5 Micras): Material particulado con un diámetro aerodinámico menor o igual a 2,5 micrómetros nominales.

Porosidad: Proporción de espacios vacíos presentes en una roca, interconectados o no. En hidrogeología es relevante el término porosidad relativa que se refiere sólo a aquellos interconectados y por tanto capaces de conducir fluidos a través de la roca.

Porosidad primaria: Porosidad natural de la roca, generada por las propiedades de las partículas que la conforman y por el proceso de diagénesis (proceso de litificación de sedimentos debido a efectos de presión y temperatura). (Definición propia).

Porosidad secundaria: Porosidad (conjunto de espacios vacíos presentes en la roca) debida a esfuerzos posteriores a la diagénesis (fracturamiento, disolución etc.). (Definición propia).

Precipitación: Se considera como las formas de humedad presentes en la atmósfera terrestre tales como lluvia, granizo, rocío, neblina, nieve. Para este caso únicamente se contempla la lluvia.

Presa de relaves (Dique de colas): Pared artificial cuya función es retener los relaves generados durante el proceso minero.

PST (Partículas Suspendedas Totales): Material particulado que incluye tanto a la fracción inhalable como a las mayores de 10 micras, que no se sedimentan en periodos cortos sino que permanecen suspendidas en el aire debido a su tamaño y densidad.

Relaves (Colas o jales): Suspensiones finas de sólido en líquido, cuyas propiedades dependen de la relación agua-sólido, las cuales varían entre 1:1 y 2:1, lo que implica que en la suspensión acuosa la viscosidad varía en función del contenido de sólidos, lográndose incluso lodos espesos e incluso suelo húmedo con contenidos bajos de agua.

Roca hipoabisal: Rocas ígneas intrusivas de textura media cristalizadas cerca de superficie dentro de la corteza.

Roca metamórfica: Roca formada por recristalización de rocas preexistentes en respuesta a cambios de presión y temperatura.

Saprolito: Roca alterada químicamente in situ que ha perdido parte de sus componentes y estructura original debido a meteorización, proceso que incluye mecanismos geológicos, biológicos y ambientales. (Definición propia).

Sistema de Información Geográfica: Programa (*software*) para recolectar, almacenar y analizar información geográfica (ej.: *Google Earth*)

Sólidos Disueltos Totales (SDT): Medida del contenido de sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos), y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua.

Tajo: Fosa o hueco producto de la extracción de suelos y rocas con fines de minería a cielo abierto.

Tefra: Material piroclástico proveniente de un volcán independiente de su tamaño, forma y composición. El término es usualmente aplicado a material transportado por el aire posterior a la erupción más que a depósitos de flujos piroclásticos.

Tixotropía: Propiedad de algunos materiales de cambiar de estado de gel a líquido bajo estrés (p.ej. al ser agitados) y retornar al estado original cuando cesa el estímulo.

Transmisividad: Tasa a la cual el agua subterránea es transmitida (a través de un espesor unitario con un gradiente hidráulico unitario).

Trituración: Proceso de fragmentación que lleva la roca mineralizada a tamaños cercanos a 2 mm.

Yacimiento minero: Cuerpo rocoso en el que está presente, en una concentración más alta que el promedio, lo cual lo hace explotable, un mineral o material geológico de interés.

ZCIT (Zona de Convergencia Intertropical): Estrecha banda zonal donde convergen los vientos alisios del norte y sur. Esta zona se caracteriza por máxima nubosidad y lluvia.

Zona mineralizada (Roca mineralizada): Roca con contenido de oro u otro mineral de interés en cantidad suficiente para ser extraído y procesado.

ANÁLISIS DESDE LA PERSPECTIVA DE AMENAZAS SOCIOAMBIENTALES DE UNA MINA DE ORO A CIELO ABIERTO: CASO DE ESTUDIO LA COLOSA, CAJAMARCA (TOLIMA)

Con el fin de llevar a cabo un análisis técnico sobre el proyecto minero de la empresa surafricana AngloGold Ashanti (AGA) denominado La Colosa, el Grupo de Investigación Geoambiental Terrae llevó a cabo una evaluación desde la perspectiva de la amenaza, entendida como la probabilidad de ocurrencia de un evento dañino en un territorio.

Se usaron como fuentes documentos de diverso formato elaborados por: AngloGold Ashanti² o por sus consultores en el proceso de sustracción de la Reserva Forestal Central, el Servicio Geológico Colombiano (SGC) y trabajos de grado y artículos académicos realizados en diferentes universidades e institutos de investigación tanto en Colombia como en el extranjero.

El riesgo de esta actividad es en realidad una red compleja debido a la relación de la minería con la contaminación de aguas, la competencia por el agua, la remoción de suelos y acuíferos, el daño a ecosistemas, el cambio en el uso del suelo, la soberanía alimentaria y la salud pública. En efecto, la contaminación del agua y el aire implican problemas de salud pública; la contaminación de las aguas y los suelos implican además un riesgo sobre la seguridad alimentaria, en particular de comunidades campesinas con ingresos económicos precarios que dependen de sus propios cultivos.

Los ecosistemas afectados pueden representar un pasivo significativo en términos de provisión de servicios ecosistémicos para grandes comunidades tanto urbanas como rurales y los conocimientos ancestrales perdidos disminuyen capacidades como la de adaptación ante cambio climático (Fierro & López, 2014).

El presente informe tiene como objetivo exponer esa compleja red de amenazas que pueden llegar a materializarse si se realiza la explotación minera de La Colosa. Para ello, el texto está dividido en tres partes: la primera describe el proyecto minero de La Colosa de manera general con base en la información pública generada por AGA y la revisión de la literatura nacional e internacional. La segunda parte presenta la información geológica, hidrogeológica e hidrológica de la zona de interés minero, y en la tercera parte se definen las amenazas particulares que sobre aguas, aire y suelo tendría la explotación con base en la recopilación de información técnico-científica nacional e internacional así como amenazas producto de una eventual rotura de una de las estructuras en las que se acumulan desechos mineros (presa de relaves).

Los autores del presente análisis técnico son los geólogos Julio Fierro Morales (MSc. Geotecnia), Andrés Eduardo Ángel Huertas (MA Gestión Pública y Gobernanza), Erika Cuida López y Daniela Mateus, los ingenieros civiles Andrés Castillo Ortegón (Esp. Recursos hidráulicos), Eduardo Quintero Chavarría (MSc Geofísica), la ingeniería ambiental Ana María Llorente (MSc Geomática -A-) y los auxiliares Vivian González, Jeremy León, Carolina Rodríguez, Francisco Díaz, José Gómez y Vanessa Rincón (estudiantes de geología).

1.

² Los documentos de AGA son de carácter público e incluyen: Informes de cumplimiento ambiental (ICA) remitidos al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el marco del seguimiento a las actividades de exploración minera en las áreas sustraídas temporalmente de la Reserva Forestal Central que y que reposan en el expediente MADS-SRF025; presentación pública del proyecto La Colosa ante el Concejo de Ibagué (Tolima, Colombia) realizada en noviembre de 2015 (documento de power point); el documento de Garzón (2008) tomado de las Memorias del XII Congreso Latinoamericano de Geología y el de Tapia (2011) de la página web de AGA. Además, la empresa ha efectuado un convenio con la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín – UnalMed, para la elaboración de estudios geosféricos que incluyen el “Monitoreo hidrogeológico en la fase de exploración de la mina La Colosa” (AGA-UnalMed, 2012) y que reposan en los expedientes de sustracción de la Reserva Forestal Central.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO LA COLOSA

1.1. La empresa AngloGold Ashanti (AGA)

En 2014, AngloGold Ashanti³ fue una de las 3 principales transnacionales de producción minera de oro del mundo con 138 toneladas y 23 operaciones (en exploración o explotación) en 11 países después de Barrick Gold (194,4 toneladas) y Newmont Mining (150,7 toneladas)⁴. Tres de sus operaciones se localizan en Colombia representando, después de Sudáfrica, la zona con mayor reservas de oro estimadas en los proyectos en los que participa (AGA 2014). La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra los países en los que la empresa tiene actualmente operaciones y las características básicas de los proyectos.



FIGURA 1. PRESENCIA DE AGA A NIVEL MUNDIAL. UBICACIÓN, PROYECTOS Y PARTICIPACIÓN EN CADA UNO. MODIFICADO DE AGA (2014A) Y AGA (2014B)

La empresa tiene su sede en Sudáfrica y fue filial del grupo británico Anglo American hasta 2009 cuando se independizó⁵.

1.2. El proyecto minero La Colosa

1.2.1 Localización y características del yacimiento

La Colosa es un proyecto minero de gran escala que planea la extracción a cielo abierto de cerca de 33 millones de onzas de oro (AGA, 2014). Se encuentra actualmente en fase de exploración y por la magnitud de reservas estimadas podría estar entre los 10 proyectos mineros de oro más grandes del mundo de acuerdo con categorizaciones del sector minero (Mining, 2013⁶ y 2015⁷).

El proyecto se ubica en la vertiente oriental de la Cordillera Central, en jurisdicción del municipio de Cajamarca (Departamento del Tolima) dentro de la cuenca del río Bermellón, específicamente en las

³ <http://www.anglogoldashanti.com/en/About-Us/history/Pages/default.aspx> (consultado el 2 de enero de 2016)

⁴ <http://investingnews.com/daily/resource-investing/precious-metals-investing/gold-investing/barrick-newmont-anglogold-goldcorp-kinross-newcrest/> (consultado el 2 de enero de 2016)

⁵ <http://www.anglogoldashanti.com/en/About-Us/history/Pages/default.aspx> (consultado el 25 de enero de 2016)

⁶ <http://www.mining.com/web/worlds-top-10-gold-deposits/>

⁷ <http://www.mining.com/the-worlds-top-10-gold-mines/>

subcuencas de las quebradas La Arenosa y La Colosa. En su totalidad, se encuentra dentro de la Reserva Forestal Central (RFC), creada por la Ley 2ª de 1959 como forma de protección de un área con un alto valor ambiental, con respecto a los principales centros poblados, se ubica a 14 km de Cajamarca y a 35 km de Ibagué (ver ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

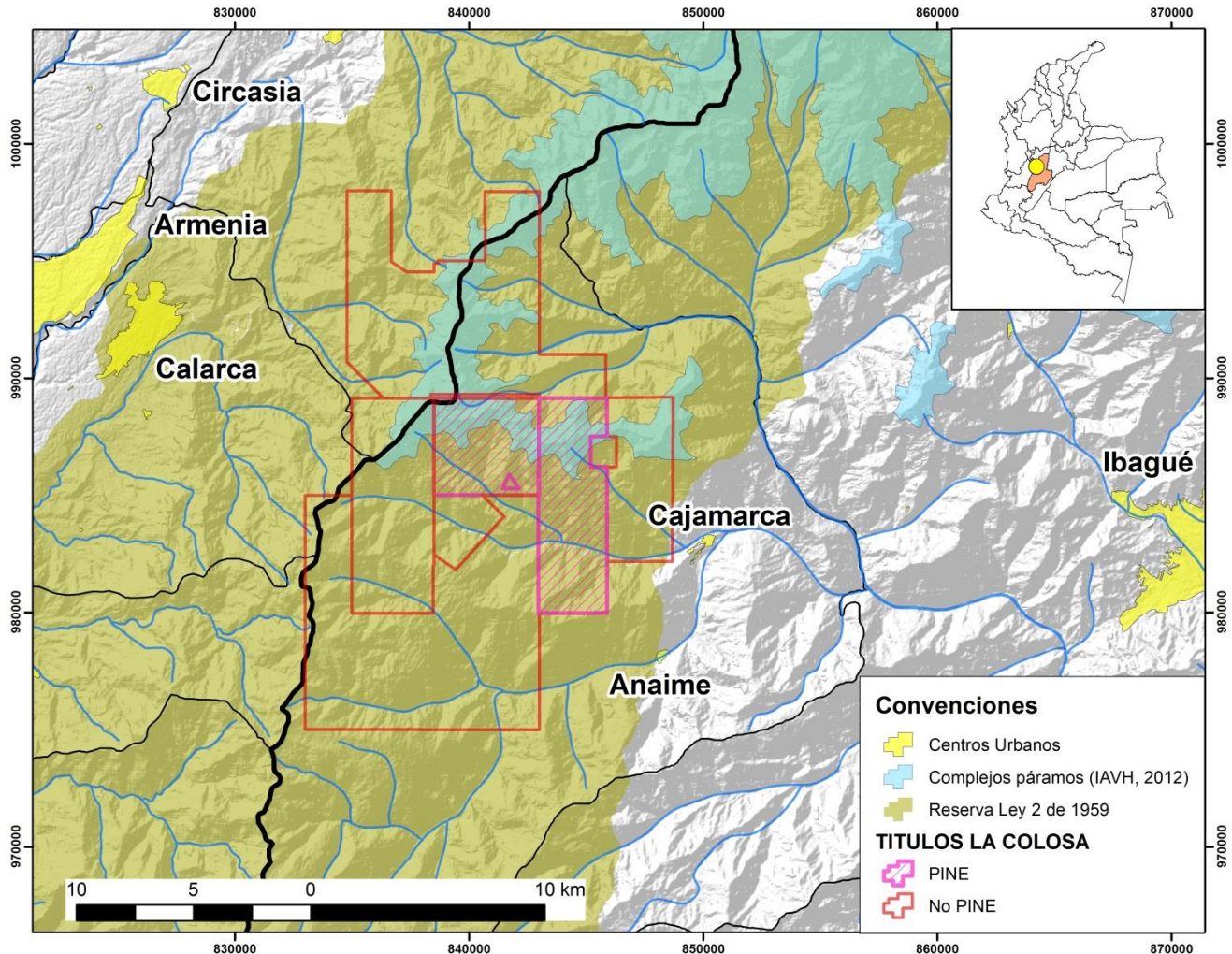


FIGURA 2. LOCALIZACIÓN GENERAL DE PROYECTO DE LA COLOSA, CON LAS ÁREAS DE AFECTACIÓN DIRECTA EN COLOR ROJO. ELABORACIÓN PROPIA.

El yacimiento es de tipo pórfido aurífero es decir, es un cuerpo de roca discreto, constituido por rocas ígneas provenientes de alta profundidad, y se caracteriza por tener gran volumen, baja concentración de oro y altos contenidos de minerales del grupo de los sulfuros (Cunningham et al., 2008) dentro de los cuales el más abundante es la pirita (sulfuro de hierro). La asociación entre pirita y oro es tan frecuente, que la primera y su forma combinada con el arsénico (As), la arsenopirita, son dos de los marcadores más usados en la prospección y exploración de oro (Berger et al, 2008⁸). Esto quiere decir que la existencia de pirita y arsenopirita en cantidades significativas, generalmente indica la presencia de oro.

El oro se encuentra en estos yacimientos de dos maneras: concentrado en venillas o filones,

⁸ Berger, B.R., Ayuso, R.A., Wynn, J.C., and Seal, R.R., 2008, Preliminary model of porphyry copper deposits: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1321, 55 p.

(coloquialmente conocidos como vetas) y/o diseminado dentro de la roca en partículas muy pequeñas. Tanto las rocas con filones como aquellas con oro diseminado son denominadas “minerales” en la jerga minera.

La información sobre las características del yacimiento de La Colosa en términos de volumen, tenor de oro (concentración), porcentaje de sulfuros, contenido de metales pesados, y en general las consideraciones geológicas y geoquímicas del yacimiento que han sido publicadas o comunicadas por AGA son escasas. No obstante, hay trabajos científicos, informes y resúmenes vinculados a o financiados por la empresa que dan una idea de las características del proyecto. Garzón (2008) establece el tenor de oro del yacimiento en 0,86 gramos por tonelada (con variaciones entre 0,6 y 1,4 g/ton de acuerdo con Tapia, 2011)

Adicionalmente del documento de Tapia (2011), en su momento gerente del proyecto La Colosa de AGA, se observa en las gráficas que la profundidad máxima del tajo minero de La Colosa, es decir la fosa o hueco de donde se planea hacer la extracción del mineral, es cercana a los 650 metros (equivalente a la altura de un edificio de cerca de 220 pisos). Igualmente, anotó que las mineralizaciones de oro de alto grado se asocian a venillas de oro y sulfuros cuya concentración de azufre generalmente excede el 2,5%. No se aclara si dicho porcentaje se asocia únicamente a las zonas mineralizadas (rocas con contenido suficiente de oro para ser extraído) o al yacimiento en general. Sin embargo, el autor es explícito en relacionar el oro del yacimiento con la presencia de arsenopirita.

En conclusión, de acuerdo con la información técnica general publicada por AGA, el yacimiento aurífero de La Colosa se caracteriza por su gran tamaño, baja concentración (menos de un gramo por tonelada) y la presencia de sulfuros (en particular piritita y arsenopirita) lo cual representa un riesgo de liberación de especies nocivas para las fuentes de agua en caso de llevarse a cabo el proyecto. Esto se describirá con mayor detalle en la Sección 3 del presente documento.

1.2.2 Localización de estructuras mineras del proyecto La Colosa

La siguiente descripción se basa en la presentación “La Colosa, una oportunidad de oro para el Tolima” expuesta por AGA al Concejo Municipal de Ibagué en noviembre de 2014, en la cual la compañía expuso generalidades del proyecto y escenarios del mismo AGA (2014c).

Las estructuras mineras señaladas en la presentación ante el Concejo son:

- Tajo minero: Lugar de extracción de las rocas
- Botadero: Lugar en donde se dispone lo que se denomina como “desecho de roca” o rocas no mineralizadas (que no contienen oro suficiente pero pueden ser ricas en sulfuros, metales pesados y otras sustancias potencialmente nocivas)
- Presa de relaves: Estructura compuesta por una pared artificial para retener los relaves (material sobrante que queda después del proceso químico de separación del oro y la roca o beneficio)
- Embalse de aguas de contacto: Represamiento de aguas que entran en contacto con desechos rocosos y por ello se acidifican
- Planta de metalurgia: Lugar en el que se realizan los procesos químicos para separar el oro de las rocas mineralizadas
- Infraestructura minera: Campamentos, oficinas y demás estructuras necesarias para el desarrollo del proyecto

Con base en la localización y dimensiones de las estructuras proyectadas para el año 2045 (ver AGA, 2014c) cuando la empresa estima tener completamente desarrollado el proyecto y teniendo en

cuenta rasgos geomorfológicos (valles de quebradas, confluencias de cauces, rasgos en laderas, entre otros) se ubicaron las principales estructuras mineras y su relación con fallas geológicas, cauces, cascados urbanos e infraestructura vial nacional mediante SIG (Sistemas de Información Geográfica) (ver Figura 3).

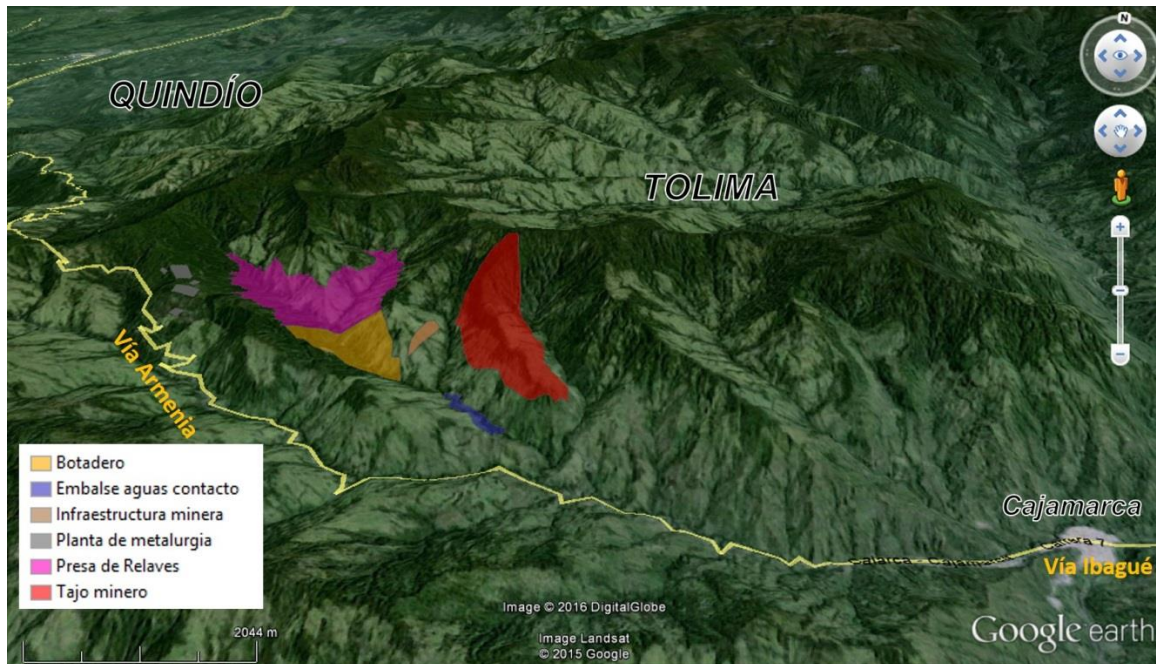


FIGURA 3. ESTRUCTURAS MINERAS PROYECTO LA COLOSA PROYECCIÓN AÑO 2045

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN LA PRESENTACIÓN DE AGA AL CONCEJO DE IBAGUÉ (NOVIEMBRE DE 2014)

Con base en dicha información, se concluye que:

- Se diseñó un sistema de explotación a cielo abierto con un tajo único, al menos por un tiempo de 19 años.
- No existe información oficial divulgada por la empresa respecto del volumen o tonelaje del botadero, ni de los relaves a generar.
- Tampoco existen datos sobre la altura a la que llegará el tajo de explotación ni la cota máxima de la presa de relaves.

Sin embargo, con base en los esquemas de avance del proyecto presentados al Concejo Municipal de Ibagué AGA (2014c), en el presente informe se calculó que los relaves se ubicarían, en su altura máxima, a 2950 metros sobre el nivel del mar. En cuanto al tajo, si se complementa la fuente anterior con lo expuesto en el documento técnico de Tapia (2011), se puede concluir que tendrá una profundidad máxima de 650 m respecto al terreno actual y la altura máxima de la afectación será cercana a 3.425 metros sobre el nivel del mar. Esta altura, en cualquier lugar de Colombia, corresponde a ecosistema de páramo. Cabe anotar que los cálculos se hacen con base en la información disponible en AGA (2014c) y la cartografía a escala 1:100.000 generada por el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt en 2012, la cual no ha sido acogida por el MADS.

Por la descripción anterior, se concluye que el proyecto de La Colosa sería de magnitudes desconocidas en el país. Es uno de los primeros proyectos de minería de oro de gran escala a cielo abierto que se piensa desarrollar en Colombia.

1.2.3 Contratos mineros y proceso de sustracción de la Reserva Forestal Central (Ley 2 1959)

Los títulos mineros otorgados a AGA para el desarrollo del proyecto La Colosa se localizan en jurisdicción de los Departamentos de Tolima y Quindío y fueron otorgados por la autoridad minera (entonces Ingeominas, actualmente ANM) entre el 15 de febrero de 2007 y el 25 de enero de 2008. El área total de los títulos otorgados es de 23.545,1 hectáreas (equivalente a dos y media veces el casco urbano de Medellín). Como se evidenció antes, la totalidad de los títulos se encuentran ubicados en el área de Reserva Forestal Central (RFC) creada por la Ley 2ª de 1959.

Por estar ubicados en un área de reserva forestal, luego de haber obtenido los títulos mineros, la empresa tuvo que solicitar al MADS la sustracción temporal de un área de 515,75 hectáreas. Según la ley, esta sustracción, debía hacerse antes de iniciar cualquier trabajo de exploración.

No obstante lo anterior, según AGA – Geoingeniería – AP&A, 2008, p.5, antes de que el MADS aprobara la sustracción, la empresa definió y ejecutó tres etapas correspondientes a la fase exploratoria. Estas fueron:

- Etapa 1: Prospección geológica a nivel regional
- Etapa 2: Prospección geológica superficial a nivel detallado, toma de muestras y análisis en laboratorio para análisis mineralógico
- Etapa 3: Ejecución de perforaciones para toma de muestras.

Dichas actividades realizadas por AGA sin previa obtención de la sustracción de la RFC, motivaron la suspensión inmediata de las actividades mineras, ordenada por la Corporación Autónoma Regional del Tolima (Cortolima) mediante Resolución 205 del 21 de febrero de 2008, además de la apertura de procesos sancionatorios ambientales contra AGA.

Sin embargo, en 2009, mediante la Resolución 814 el MADS aprobó la sustracción de 6,39 hectáreas de total solicitado (515,7 hectáreas). Ante esto, y con base en la revisión del expediente SRF 025 es pertinente mencionar que entidades como la Procuraduría General de la Nación y la Contraloría General de la República, emitieron concepto respecto al carácter inconstitucional de la referida sustracción y de la irregularidad en la determinación del área a sustraer. Esto último se debió, principalmente, a que en la sustracción que se le otorgó a AGA la extensión no obedece a una superficie continua sino que corresponde a áreas fragmentadas que sumadas dan 6,4 hectáreas (ver puntos amarillos en Figura 4). Estas pequeñas áreas fragmentadas corresponden a plataformas de exploración, campamentos, helipuertos y vías de acceso. Es decir que en la práctica, el área que afectada por la sustracción es un área mayor al área efectivamente concedida por la Resolución 814 de 2009.

Una vez otorgada dicha sustracción, las actividades de exploración fueron reactivadas al emitir el MADS la Resolución 814 de 2009, lo que permitió reiniciar trabajos en 274 pozos de perforación reportados en los Informes de Cumplimiento Ambiental (ICA)⁹ correspondientes al periodo comprendido entre el mes de agosto de 2010 y febrero de 2014.

Más adelante, AGA solicitó nuevas sustracciones por 169,3 hectáreas del área de RFC en el expediente denominado SRF0343, argumentando el inicio de la exploración avanzada y la necesidad de estudios, trabajos y obras para que con la aprobación del Estudio de Impacto Ambiental y la obtención de la licencia ambiental, se diera la sustracción definitiva del área de RFC, y una más de

⁹ Los ICA son entregados semestralmente al MADS en cumplimiento del PMA diseñado para el proyecto La Colosa en el marco de la Guía Minero Ambiental de Exploración adoptada por los Ministerios de Minas y Energía y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, mediante Resolución 18-0861 del 20 de agosto de 2002.

35,9 hectáreas otorgada mediante Resolución 1731 del 28 de octubre de 2014 originando la apertura del expediente SRF 0239.

A estos tres expedientes (SRF 025, SRF 0343 y SRF 239), se sumaron nuevas solicitudes de sustracción de la RFC por parte de AGA al MADS. Los expedientes generados ante dichas solicitudes son: SRF 207 y SRF 296. El primero con un área de sustracción de 295,5 hectáreas aún en trámite, el segundo con desistimiento por parte de AGA del área solicitada (Auto 50 del 4 de marzo de 2015).

La Figura 4 muestra la localización y extensión de la sustracción solicitada y aprobada mediante Resolución 814 de 2009 correspondiente a las 6,4 hectáreas (puntos amarillos) de las 515,7 hectáreas solicitadas (polígono color magenta). Y en la Figura 5 se muestran las 35,9 hectáreas otorgadas mediante Resolución 1731 del 28 de octubre de 2014 (puntos rojos) y la nueva sustracción solicitada en el mes de abril de 2015, objeto de análisis por parte del MADS (puntos amarillos). Los puntos en amarillo y rojo indicados en ambas figuras corresponden a las plataformas de perforación. Como se puede ver ellas, tanto la sustracción otorgada como la sustracción solicitada fueron definidas como áreas independientes y no como área continua que englobe la totalidad de las áreas a afectar. Esto lleva a que las áreas afectadas (todas las circundantes a las zonas sustraídas) sean mucho mayores en comparación con un área única.

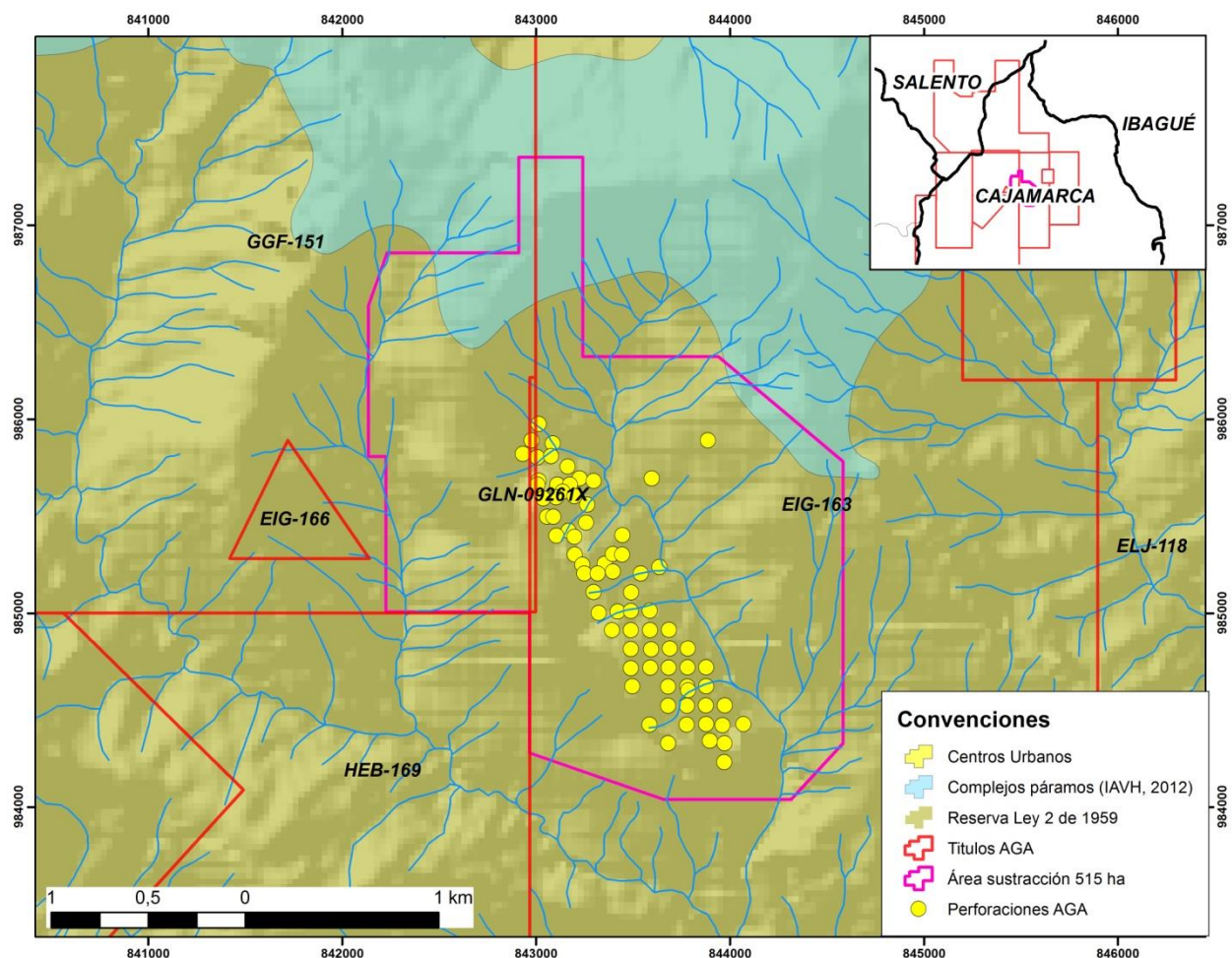


FIGURA 4. ÁREA SOLICITADA PARA SUSTRACCIÓN POR AGA (EN MAGENTA) EN 2008 QUE SUMA 515 HA. EL MINISTERIO DE AMBIENTE SUSTRAJÓ 6,39 HA QUE CORRESPONDEN A LAS PLATAFORMAS DE PERFORACIÓN DE LOS POZOS QUE SE VEN EN PUNTOS AMARILLOS. ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN LA INFORMACIÓN REMITIDA POR AGA AL MADS.

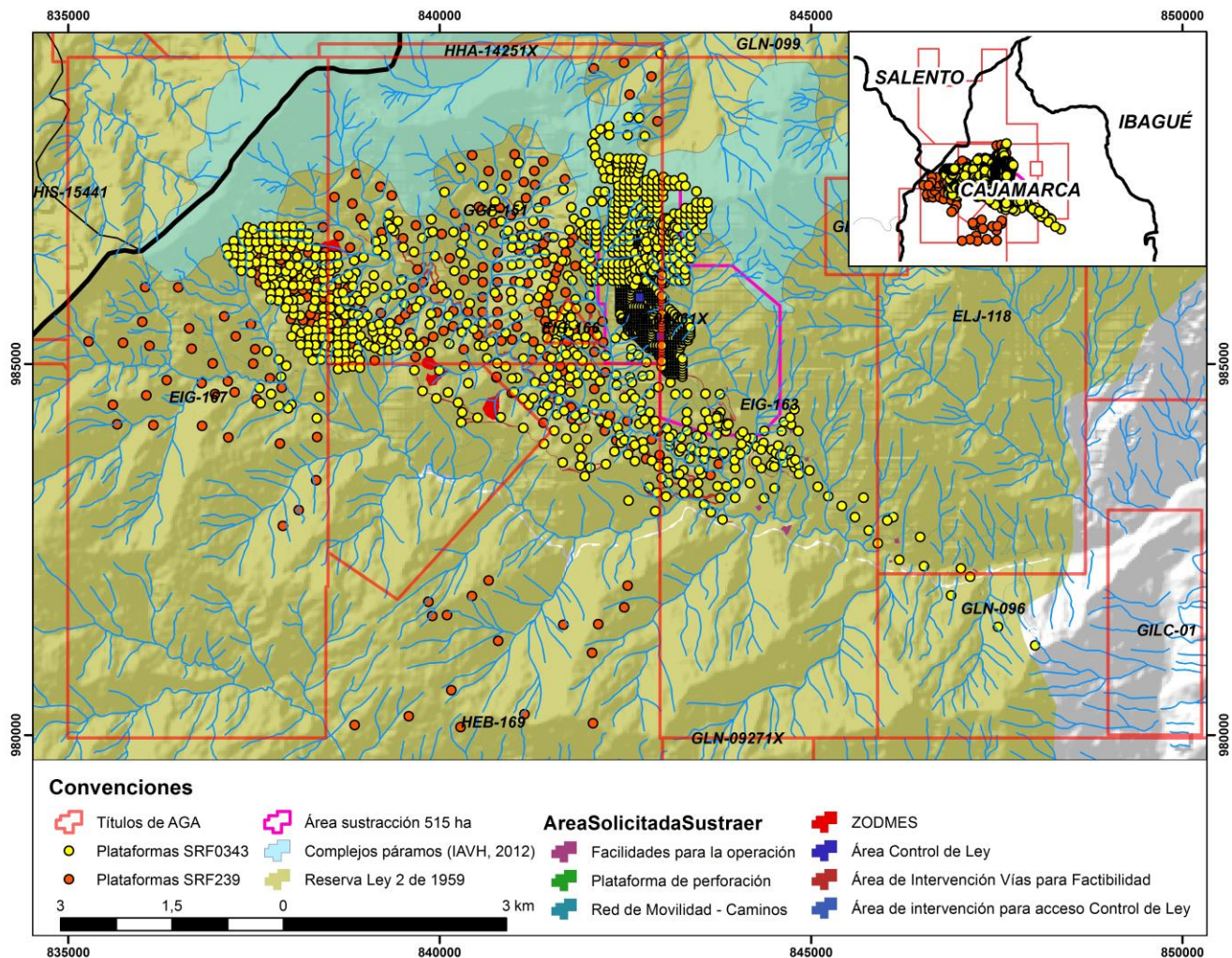


FIGURA 5. ÁREA EN SOLICITUD PARA SUSTRACCIÓN (EXPEDIENTES SRF 0343 Y SRF239), LA CUAL NO HA SIDO OTORGADA. ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN LA INFORMACIÓN REMITIDA POR AGA AL MADS.

En síntesis, el carácter de reserva forestal de la zona donde se localizan los títulos mineros del proyecto La Colosa ha requerido la obtención del permiso respectivo por parte del MADS para la sustracción temporal. La primera sustracción temporal fue otorgada pese a que AGA intervino la zona previamente, lo cual llevó a la apertura de procesos sancionatorios ambientales.

Adicionalmente, se desconocieron los pronunciamientos de la Procuraduría General de la Nación y la Contraloría General de la República en el sentido de la inconstitucionalidad en el proceder del MADS e irregularidad en la conformación del área sustraída. A la fecha, el MADS evalúa la segunda solicitud de sustracción temporal de la RFC correspondiente a 169,3 hectáreas, compuestas por la sumatoria de numerosas áreas independientes.

1.3. Fases mineras en La Colosa

A continuación se hará una breve descripción de cada una de las etapas contempladas dentro del proyecto minero de La Colosa. Este tipo de proyectos se compone de dos fases: Exploración y explotación. Actualmente el proyecto se encuentra en la fase de exploración, la cual se está llevando a cabo en las 6,39 hectáreas que fueron temporalmente sustraídas de la RFC.

1.3.1 Fase actual: Exploración

Hasta el momento, de acuerdo con los documentos que reposan en los expedientes de sustracción de la Reserva Forestal Central, dentro de la fase exploratoria se han llevado a cabo actividades de levantamiento geológico, geofísica magnetométrica y perforación en roca con propósitos metalúrgicos, hidrogeológicos y geotécnicos.

1.3.1.1 Exploración de superficie y prospección geofísica

Esta exploración incluye la cartografía geológica, es decir, la ubicación y caracterización de los diferentes tipos de rocas y depósitos, así como la deformación que han sufrido los elementos rocosos (fracturas, fallas geológicas, entre otros) que se pueden relacionar con la geometría del yacimiento. En cuanto a la información de subsuelo, también es común en esta etapa la adquisición de información geofísica, que se obtiene al estimular el terreno por medio de energía eléctrica, magnética o mecánica (vibraciones o detonaciones) entre otras, y cuya respuesta es recogida por sensores para generar un modelo del subsuelo.

1.3.1.2 Perforaciones exploratorias

Luego de generar un modelo tridimensional preliminar se inicia la perforación, que consiste en la introducción de brocas con punta de diamante para obtener fragmentos continuos de roca (núcleos), los cuales son usados para definir diferentes aspectos como contenido de minerales, geometría del yacimiento, mineralizaciones y fracturamiento, entre otros.

A la fecha, de acuerdo con la información remitida por AGA en los ICA, el proyecto de La Colosa cuenta con 274 pozos de perforación, los cuales necesitan de actividades previas como remoción de vegetación, nivelación del terreno, construcción de campamentos, instalación de baterías sanitarias, laboratorios y plataformas así como el uso de sustancias de interés sanitario como combustibles, lubricantes y lodos de perforación cuyo principal componente químico es el bario.

Una vez se finaliza la etapa de exploración, la empresa debe presentar un Plan de Trabajos y Obras (PTO) a la autoridad minera y el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) a la autoridad ambiental competente, que en el caso de gran minería es la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). Con base en este estudio, la ANLA otorga o niega la licencia ambiental que se requiere para continuar con la fase de explotación. Sólo hasta obtener dicha licencia es posible proceder a la fase que se describen a continuación.

1.3.2 Fase que pretenden desarrollar a futuro: Explotación

1.3.2.1 Construcción y montaje

Esta fase incluye la apertura o rehabilitación de vías y construcción y equipamiento de talleres, campamentos, laboratorios e instalaciones administrativas. El objetivo es montar toda la infraestructura que será necesaria para los trabajos de explotación. Para su desarrollo, es necesaria la minería para extracción de materiales de construcción que asegure el suministro de gravas y arenas para fabricar el concreto de las diferentes obras y estructuras. El montaje incluye la construcción de tanques para almacenar cianuro, presas para suministro de agua, estaciones o subestaciones de energía, tanques de combustible para el funcionamiento de la maquinaria y el equipo, polvorines, acopios de químicos para voladuras, detonaciones y procesos de beneficio minero.

1.3.2.2 La explotación minera

1.3.2.2.1 Extracción

Una vez finalizada la etapa de construcción y montaje, se debe crear el tajo minero con el fin de iniciar la explotación en sí, es decir, se debe abrir el hueco o fosa de donde se extraerán las rocas, tanto las que contienen oro suficiente como las que no. El proceso implica la remoción de la vegetación y los suelos. También se debe retirar la fauna que esté en el área para comenzar con el minado de rocas oxidadas, es decir aquellas más superficiales que por estar cerca de la superficie ya han tenido contacto con el oxígeno del aire.

Una vez el tajo alcanza una profundidad de 40 a 70 metros, se inicia el minado de las secuencias rocosas no oxidadas. Es probable que la remoción de suelos no necesite voladuras, pero la roca dura requiere la detonación mediante el uso de Nitrato de Amonio - Diesel (ANFO, por sus siglas en inglés) con la consiguiente generación de ruido, vibraciones y emisión de material particulado y gases.

Los desechos rocosos que se generarían en este proyecto son aquellos materiales que tienen un contenido de oro menor a lo que se denomina “ley de corte”. Esta ley corresponde a la mínima concentración de oro que hace viable técnica y económicamente el proyecto. Para el caso de La Colosa, la ley de corte (AGA, 2012) se ha calculado en 0,3 ppm (lo que equivale a 0,3 gramos de oro por tonelada de roca). Es decir, el material extraído que tenga una concentración menor será desechado en una acumulación que se conoce como botadero de “estériles”¹⁰ o escombrera.

La Figura 6 (Tapia, 2011) muestra el perfil topográfico actual (línea negra) y el perfil topográfico con el tajo minero proyectado (línea discontinua roja). Los colores grises y blancos muestran las rocas que tienen menos de 0,3 ppm de oro, lo cual las convierte en rocas no mineralizadas, comúnmente denominadas “estériles”. Los colores verde, amarillo, rojo y magenta representan rocas que tienen una concentración de oro mayor que la ley de corte y se conocen como rocas mineralizadas (“mineral”). Estas rocas son tratadas químicamente para extraerles el oro a través del proceso denominado beneficio, donde el material sobrante que no es oro, denominado “relave” (de consistencia líquida o semisólida), es desechado y acumulado en una misma área. En el caso de La Colosa se plantea disponer los relaves directamente sobre el valle de la quebrada La Guala (AGA, 2014c) conformando una estructura de represa con los desechos rocosos (“estériles”). Es decir, los desechos “estériles” se disponen en el botadero, que a su vez actúa como estructura de contención de los relaves.

La excavación del tajo minero conlleva un descenso del nivel freático, es decir, una profundización del nivel de las aguas subterráneas. El descenso del nivel freático implica que a los espacios al interior de la roca, antes ocupados por aguas subterráneas ingrese aire, con lo cual la roca en las paredes del tajo minero se oxida. De manera similar los fragmentos de roca del botadero se oxidan pues se expone a condiciones superficiales. Los desequilibrios geoquímicos resultantes se evaluarán en la sección 3.

¹⁰ El uso de la palabra estéril es inadecuado pues los desechos mineros contienen gran cantidad de especies químicas tóxicas que los convierten en materiales muy reactivos desde un punto de vista geoquímico.

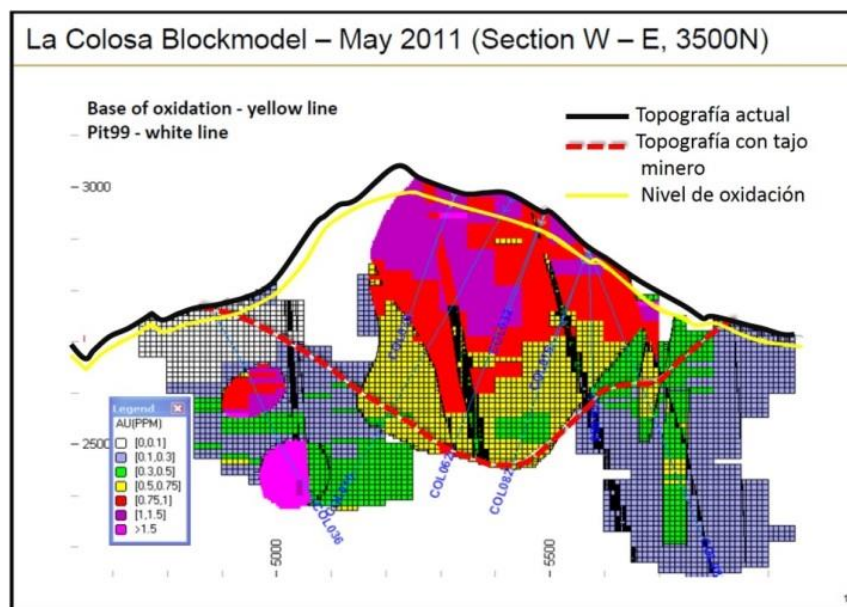


FIGURA 6. PERFIL DE LA COLOSA. FUENTE: TAPIA (2011)

En conclusión, dada la concentración de oro del yacimiento cercana a 0,8 gramos por cada tonelada de roca, puede calcularse que por cada gramo de oro que se extraiga en el proyecto de La Colosa, se generarán al menos 1,2 toneladas de desecho de roca, los cuales serán acumulados para represar los relaves, que son otro tipo de desechos que resultan del proceso de beneficio que se describe a continuación.

1.3.2.2.2 Beneficio

Luego de la extracción de las rocas y la separación entre aquellas que tienen oro suficiente y aquellas que no (y que por ende serán desechadas en el botadero), se da el proceso de beneficio, el cual tiene por objetivo la separación del oro, de sus acompañantes químicos, que incluyen sulfuros, telurios, óxidos, silicatos y carbonatos (Goldfarb, 2010; Molano, 2014).

Dado que el oro se encuentra diseminado (partículas muy finas de oro contenidas en la roca) en el yacimiento, Tapia (2011) en su reporte para AGA, describe el proceso de beneficio en dos etapas: (1) trituración y molienda y (2) concentración y flotación.

La trituración busca romper la roca hasta fragmentos de 2 cm de diámetro para luego pulverizarlos a tamaños de 0,1 mm (el espesor típico del cabello humano). Luego, la concentración gravimétrica, que se hace utilizando centrifugadoras y un reactor de cianuración intensivo, permite recuperar el oro de tamaño más grueso. Finalmente, en un proceso conocido como flotación, se utilizan químicos y aireación para producir una espuma soluble en agua, rica en oro, cianuro y sulfuros, en particular pirita. Este material es lavado para separar el oro y el cianuro de los sulfuros. Los dos primeros se someten a un proceso de recobro con carbón activado para separar el oro. Todo el material restante que no es oro se denomina relaves (o colas o jales).

1.3.2.2.3 Cuantificación aproximada de desechos mineros

Debido a la amenaza que suponen los desechos mineros anteriormente descritos para la salud humana y de los ecosistemas es necesario aproximar cuantitativamente la cantidad de desechos que se generarán. Como ya se mencionó más arriba, según lo estimado por AGA (2014a), en La Colosa existen 0,82 gramos de oro por cada tonelada de roca. Teniendo en cuenta que la cantidad total de

oro reportado por la empresa en el yacimiento es de 33,15 millones de onzas (1030,96 millones de gramos), la eventual extracción del total de oro requeriría la voladura de 1257,27 millones de toneladas de roca mineralizada.

Con el fin de brindar un contexto sobre volúmenes de explosivos (ANFO) y toneladas de desecho por gramo de oro extraído, es necesario acudir a otros proyectos de minería de gran escala de oro a cielo abierto. Como se puede ver en la Tabla 1, basados en los datos presentados por Greystar (2009) en el EIA para el proyecto minero de Santurbán y por SRK (2011) para el de Grancolombia Gold en Marmato, la relación de desecho rocoso por gramo de oro da un resultado mucho mayor que el estimado que se mencionó en el párrafo anterior, puesto que existe un gran volumen de roca que debe ser sometido a voladura y que se va a desechar en el botadero. Con base en los reportes técnicos de estos dos proyectos, Cabrera y Fierro (2013) calculan que por cada gramo de oro extraído es necesario minar entre 3 y 4 toneladas de roca.

Para el proyecto de La Colosa esto resultaría en un volumen máximo de desechos que puede llegar a cerca de 4.120 millones de toneladas y requeriría utilizar más de 500 millones de toneladas de ANFO, calculadas con base en el estimado de Greystar (2009) para el caso de la mina a cielo abierto de Angosturas en Santurbán¹¹ (rendimiento de ANFO de 0,132 Kg por tonelada de roca).

TABLA 1. GENERACIÓN DE DESECHOS MINEROS. MODIFICADA DE CABRERA Y FIERRO (2013).

Proyecto	Gramalote		Marmato	Greystar		La Colosa	
Oro (Ton)	113,55		311	357,65		758,84	
Tenor oro	ND		1,0 g/ton	0,76 g/ton		0,82 g/ton	
	Mín. (reportado)	Máx.	Reportado**	Mín.***	Máx.	Mín.	Máx.
Desechos mineros (Mton)	412,8	ND	1231	1075	ND	1257,3	4120
Ton desechos por gramo de oro	3,64	ND	3,96	3,01	ND	1,66	5,43
ANFO (Mton)*	54	ND	162	142	ND	166	544

*Usando la relación de Greystar (2009)

**Grancolombia Gold reporta el tonelaje de desechos mineros en 1231 millones de toneladas (Mton), de los cuales 948 corresponden a botadero. Los otros datos para ese proyecto son calculados con base en ello

***El EIA de Greystar reporta 744,8 Mton de "estéril" y 331 de "mineral". Dado que la roca mineralizada se mezclará con agua y con grandes cantidades de químicos, el tonelaje de colas será mucho mayor.

ND: Información no disponible

La Tabla 1 muestra la cantidad de desechos mineros que podrían generarse en diferentes proyectos de oro en Colombia en caso de entrar a fase de explotación. Esta información permite establecer que en el caso del proyecto Marmato, localizado en el departamento de Caldas, el porcentaje de roca no mineralizada que va al botadero sería del 77% y en el caso de Greystar del 69,3%. Si bien las particularidades geológicas, mineralógicas y petrológicas son las que definen este porcentaje, dadas las limitaciones de información socializada por parte de AGA, se considerará un porcentaje del 70%.

Este porcentaje está sujeto a ajustes si la empresa publica información más precisa. Con las aproximaciones anteriores, el volumen de residuos no mineralizados del botadero de La Colosa varía entre 880 y 2.884 millones de toneladas de desechos mineros, cifras que se utilizarán en este informe para establecer la amenaza por generación de aguas ácidas.

¹¹ Se emplea como referencia este proyecto debido a que se desconocen estos cálculos para La Colosa. Esta información aún no ha sido aportada por AGA en los informes presentados a las autoridades ambientales

1.3.2.2.4 Desechos del beneficio minero: La presa de relaves

Como se mencionó más arriba, el material no sometido al proceso de beneficio ya sea porque no contiene oro o tiene un contenido tan bajo que no es económicamente rentable su extracción, será dispuesto en el botadero que en el caso particular de La Colosa actuará a su vez como estructura de contención o presa de relaves.

Dada la baja concentración de oro en este yacimiento, prácticamente la totalidad del volumen de las rocas mineralizadas serán desechadas luego del beneficio, proceso que como se vio anteriormente, implica la adición de gran cantidad de agua y sustancias químicas tóxicas y no tóxicas. Esto hace que se generen volúmenes muy significativos de una mezcla de agua, químicos y roca pulverizada denominada relave (también denominados colas o jales).

Vale la pena mencionar que en su informe, Tapia (2011) recomienda que la presa de relaves se ubique fuera de la reserva forestal, preferiblemente en un sitio con capacidad mínima de embalsar 1.420 millones de toneladas y contando con una altura máxima de embalse de 250 metros. No obstante las consideraciones de quien en su momento era el gerente del proyecto La Colosa, la presentación de AGA ante el Concejo de Ibagué en 2014 muestra que dicha instalación se planea construir dentro del Área de Reserva Forestal Central.

A manera de síntesis, se puede afirmar que:

- De llevarse a cabo, La Colosa se convertiría en el proyecto más grande de minería aurífera a cielo abierto del país, el segundo más grande del mundo a cargo de la empresa AGA y uno de los diez más grandes a nivel global
- Para hacerlo, se requeriría conformar un tajo de hasta 650 metros de profundidad, la remoción y exposición de grandes masas de roca explotada que puede alcanzar 4120 millones de toneladas, y el uso de grandísimas cantidades de tóxicos que incluyen, presuntamente, más de 500 millones de toneladas de ANFO y cientos de miles de toneladas de cianuro para ser empleado en el proceso de beneficio.
- Al hacerlo, se configurarían dos tipos de desechos de roca: botaderos y relaves. Los primeros generarían millones de toneladas de ácido sulfúrico por oxidación de los sulfuros que contienen. Para los segundos puede llegarse a necesitar el embalse de 1420 millones de toneladas de estos lodos tóxicos altamente contaminados con residuos químicos, tanto adicionados como liberados de la roca.
- La gran cantidad de químicos que contienen las rocas y que son liberados al ambiente durante el proceso minero y aquellos usados para el proceso de beneficio minero son la principal amenaza ambiental y a la salud humana, lo cual se detallará en el numeral 3.

2. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA, HIDROGEOLÓGICA E HIDROLÓGICA DE LA ZONA DE CONSTRUCCIÓN E INFLUENCIA DEL PROYECTO

Habiendo expuesto estimaciones de la magnitud del proyecto, las estructuras a construir y los procesos necesarios para llevar a cabo las etapas de exploración y explotación, en la presente sección se hará una exposición del contexto geoambiental de la zona donde se pretende adelantar.

Para ello se analizarán las características geológicas, haciendo especial énfasis en factores como los contenidos de químicos tóxicos dentro de las rocas, fallas geológicas y fracturas en roca, relación entre estas últimas y las aguas subterráneas e, igualmente, la relación entre las aguas subterráneas y superficiales. La exposición de estos factores geológicos, hidroecológicos e hidrológicos de la zona son fundamentales para entender el origen las amenazas en el marco de una eventual explotación.

2.1 Geología del yacimiento La Colosa

En este apartado se expondrán las características de los materiales geológicos (suelos, depósitos, rocas y agua subterránea) del área en donde se propone el proyecto minero La Colosa con el objetivo de contextualizar al lector y aproximar algunas definiciones técnicas relevantes de uso frecuente en caracterizaciones científicas y reportes de empresas mineras.

2.1.1. Tipos de materiales geológicos

Antes de proceder a exponer las características geológicas de la zona, deben hacerse algunas precisiones sobre las fuentes utilizadas. Gran parte de los datos precisos se encuentran en documentos que contienen ensayos de laboratorio y de campo en donde se caracteriza la zona de estudio y/o en publicaciones científicas, tesis y otros trabajos de investigación que fueron total o parcialmente financiados por AGA, y por ende su información es reservada. Dado lo anterior, este apartado se basa principalmente en dos (2) tesis de maestría y el resumen de una tercera¹² consultadas en línea.

Tanto Leichliter (2015) como Gil (2010) han realizado estudios de detalle sobre la petrología de la unidad geológica en la que se ubica La Colosa y establecen que la misma tiene una edad de 8 millones de años (Mioceno tardío). Gil hace una comparación de los depósitos de tipo pórfido (es decir, de las rocas producto de la solidificación de magmas) en el margen occidental de toda Suramérica¹³, comparación que permite concluir que la pirita es común en depósitos como el de La Colosa y que es un factor a tener en cuenta en la evaluación de las potenciales afectaciones en el escenario de un proyecto minero por su relación con la acidificación de aguas.

En cuanto a geología económica, se indica que existen recursos minerales inferidos por 470 millones de toneladas con una concentración de oro del orden de 0,82 g/ton AGA (2014a), cifra similar a la reportada por Gil (2010), Tapia (2011) y Garzón (2008) de 0,86 g/ton (y del 1% al 7% de pirita).

En cuanto a las unidades de roca presentes en el área de La Colosa, Romero Guzmán (2014), destaca las siguientes características:

- Complejo Cajamarca: Rocas metamórficas paleozoicas (es decir, de más de 250 millones de años de antigüedad) con predominio de esquistos (por sectores con presencia de pirita), anfibolitas y cuarcitas (con presencia de pirita) que fueron afectadas por la intrusión de rocas volcánicas (hipoabisales).
- Rocas hipoabisales (Tad): Rocas volcánicas del Neógeno (23 a 2 millones de años de edad) de composición dacítica – andesítica, microdiorítica, moderadamente fracturadas, con familias de diaclasas bien definidas.
- Complejo Quebradagrande (CQg): Rocas volcánicas y sedimentarias del Cretáceo (130 a 65 millones de años).
- Depósitos aluviales (de río), de vertiente y piroclásticos: Materiales recientes (menos de 2 millones de años). Se destaca que los depósitos de erupciones cubren la mayor parte del área de estudio y presentan espesores hasta de 15m.

De los trabajos citados en este aparte debe destacarse nuevamente la presencia de pirita en todas las rocas (Complejo Cajamarca y rocas volcánicas) que eventualmente afectaría al proyecto minero

¹² Igneous Petrology of the La Colosa Gold-Rich Porphyry System (Tolima, Colombia) por Javier Gil Rodríguez (Universidad de Arizona, 2010); Gold Department and Geometallurgical Recovery Model for the La Colosa, Porphyry Gold Deposit por S.E. Leichliter, 2015 y Caracterización de la heterogeneidad y anisotropía de un medio fracturado y sus implicaciones hidrogeológicas usando prospección geoelectrica e información RQD por Maira Alejandra Romero Guzmán, 2014 (Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín).

¹³ Ver Gil Rodríguez, 2010, p. 47

La Colosa. Existen también dentro de las rocas otras especies químicas tóxicas, como se puede ver en la Figura 7, los contenidos de arsénico (As) presentan valores de hasta 200 ppm en la unidad geológica Complejo Cajamarca (polígonos de color morado) en el sector de La Colosa, y hasta de 5.000 ppm en zonas adyacentes. De la misma manera, la presencia de arsénico se da en todas las unidades ya descritas, a excepción de las unidades cuaternarias.

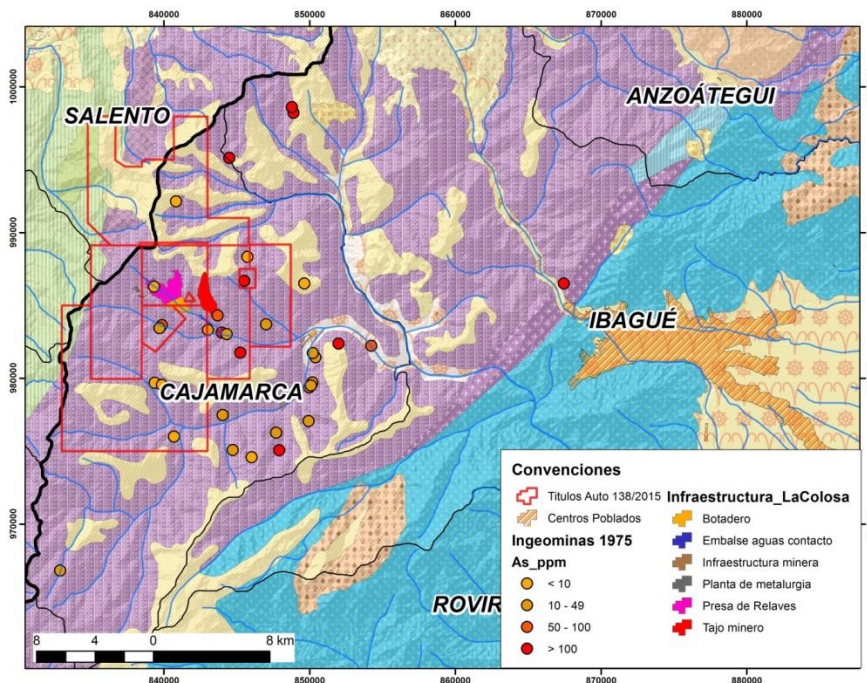


FIGURA 7. CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN ROCAS EN LA REGIÓN DE IBAGUÉ – CAJAMARCA SOBRE CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DEL SGC A ESCALA 1:1.230.000. SE INDICA LA PRESENCIA Y CONCENTRACIÓN DE ARSÉNICO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO COELLO Y EN PARTICULAR EN LA ZONA DE LA COLOSA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN DATOS DE BUITRAGO & BUENAVENTURA (1975) Y MAPA DE SGC (2015)

En lo referente al mercurio, hacia el sector de la quebrada Cristales (afluente del río Bermellón) se encuentran reportes de hasta 49,4 ppm a 0,5 metros de profundidad y de hasta 12,8 ppm a 5,3 metros. Estos reportes están asociados a las vetillas de cinabrio (sulfuro de mercurio) y pirita que se generan a partir de eventos de mineralización relacionados con aquellos que dieron lugar a las vetillas de oro del sector (Botero, 1945). Estas concentraciones se encuentran sobre la misma unidad geológica presente en el área del proyecto La Colosa.

A modo de resumen se puede establecer que:

- En las rocas que se encuentran en el área donde se propone el proyecto minero La Colosa hay presencia de pirita y otros sulfuros asociados a minerales con contenidos de arsénico y mercurio en cantidades significativas, los cuales generalmente se encuentran acompañando el oro.
- La explotación de estas rocas causaría la liberación de tóxicos al ambiente, que, en conjunto con la acidificación causada por la oxidación de la pirita, causaría una sensible disminución en la calidad tanto de aguas superficiales como subterráneas.

2.1.2. Geología Estructural

Este apartado aborda la disposición de las rocas del yacimiento, los desplazamientos y deformaciones que sufren a través del tiempo geológico y las relaciones que dichos movimientos tienen con los esfuerzos tectónicos actuantes.

El mapa geológico-estructural de mayor detalle fue realizado por Romero Guzmán (2014) y permite observar que aparte de las fallas ya reportadas (falla La Ceja y falla La Cristalina) existen otras fallas relevantes como Colosa, San Jerónimo, La Bélgica y Casa Vieja. De particular relevancia son la Falla de Palestina, pues su trazo discurre por el lugar donde se plantea ubicar la presa de relaves (AGA, 2014c) y la Falla de Ibagué, por su actividad sísmica histórica, cuyo trazo se encuentra a menos de 15 km de la proyectada presa de relaves.

De acuerdo con los estudios de la autoridad geológica colombiana (Osorio et al., 2008):

“La falla de Ibagué presenta rasgos contundentes de actividad neotectónica asociados con su trazo, los cuales la definen como una estructura potencialmente productora de grandes sismos. (...)

Estos estudios confirman que la falla de Ibagué es una de las principales estructuras transcurrentes activas del país; además, los trabajos realizados sobre el abanico de Ibagué muestran evidencias morfotectónicas contundentes de esa actividad (...).”

En cuanto a la actividad sísmica de la falla de Palestina, Collins et al., (1981) y París et al., (2000), muestran que la misma ha tenido actividad reciente (en los dos últimos millones de años) a partir de movimientos del tipo transcurrente sinistral¹⁴. Mejía (2012) analiza las características cinemáticas y condiciones de deformación de rocas asociadas a la falla de Palestina que afloran en los alrededores del Nevado del Ruíz, donde las rocas y lavas más recientes se encuentran deformadas por acción de ésta. Es decir, existe evidencia de que la falla de Palestina es una falla activa.

En todos los estudios del área se reconocen algunas fallas geológicas principales y otras fallas menores¹⁵ que deben ser analizadas ya que toda discontinuidad en la roca se constituye en una zona de debilidad y eventualmente, en una zona de generación de eventos sísmicos. La presencia de fallas constituye también un mayor riesgo de afectación a infraestructuras al momento de generarse un sismo.

El área del proyecto y sus alrededores han sido afectados por procesos tectónicos que se reflejan en la existencia de fallas geológicas (como la citada falla de Ibagué) y fracturamiento en todas las unidades rocosas. Esto se relaciona tanto con la eventual generación de sismos como con el hecho de que amplias porciones de las rocas que conforman las montañas puedan ser zonas de recarga de acuíferos, de lo cual no existe información pública en la actualidad.

2.2. Suelos del área de La Colosa

Los suelos son producto del clima pasado y el actual, de la génesis de rocas y formas de paisaje, del contenido químico de las rocas que se exponen al ambiente y de la acción de los organismos, en particular de la vegetación. Junto con los factores físicos y químicos que se involucran de manera compleja dados los factores mencionados, los suelos necesitan un tiempo para su formación del orden de miles de años (Fierro y López, 2014).

Los andisoles ó andosoles (de ‘*ando*’, en japonés: oscuro) son suelos cuya formación y evolución ha sido determinada por la presencia de cenizas volcánicas conformando espesos suelos negros que presentan mayor productividad ecológica y agropecuaria. La exposición de las cenizas volcánicas a los elementos ambientales (agua, aire, radiación solar) genera fracciones de sólidos de tamaños muy pequeños (entre las cuales se encuentran las alofanos) que interactúan con las arcillas en profundidad y con la materia orgánica en superficie. Los suelos que constituyen la superficie de la

¹⁴ Una falla transcurrente es aquella en la cual el movimiento de los bloques de corteza no tiene componente en la dirección vertical. Sinistral indica que el movimiento horizontal se da en el sentido contrario a las manecillas del reloj.

¹⁵ Ver lista de fallas en AGA – UnalMed (2012), cap. 3, p. 3-73 y 3-74. El mapa de fallas menores se encuentra disponible en cap. 3, p. 3-76. El de fallas mayores puede consultarse en Romero Guzmán, 2014, p. 10

zona de interés corresponden predominantemente a andisoles y tienen origen en materiales provenientes de erupciones volcánicas (AGA – Geoingeniería – AP&A, 2008).

Algunos andisoles en el Quindío presentan densidades tan bajas como $0,70\text{g/cm}^3$ (IGAC, 1996, p. 76), lo cual implica un gran volumen de vacíos, y por ende una gran capacidad de almacenamiento de agua. De igual manera, las características intrínsecas de carga eléctrica de los suelos favorecen la presencia de nutrientes en el suelo y su disponibilidad para las plantas.

En su trabajo para la zonificación ambiental de la Sabana de Bogotá (MAVDT – IDEAM, 2010) el Ideam establece que los andisoles juegan un papel importante en los sistemas ecológicos debido a que tienen una muy alta capacidad de infiltración de agua que los hace naturalmente portadores de bosque. También establece que estos suelos tienen como rasgo característico la acumulación de materia orgánica que los hace los reservorios más importantes y estables de carbono orgánico.

En los andisoles, las interacciones entre alofanos, otros minerales y materia orgánica dan una estructura granular fuerte así como propiedades de alta conductividad hidráulica y alta tasa de infiltración de aguas. No obstante, estas mismas características los hacen sensibles a modificaciones prolongadas del régimen de humedad, que producen en ellos cambios drásticos e irreversibles. En general, la desecación repentina y prolongada modifica irreversiblemente las propiedades de estos suelos y genera un rápido proceso de degradación (MAVDT – IDEAM, 2010). Otros autores sostienen que ante estímulos determinados, se da un “decrecimiento irreversible en la retención del agua y un incremento en la densidad” (Chesworth, 2008, p. 42). En cuanto a sus propiedades mecánicas, los andisoles son susceptibles a fallar si son perturbados, en especial si se encuentran sobre una ladera o talud pronunciado (Chesworth, 2008, p. 44).

Dadas las anteriores características, las principales propiedades de estos suelos son la fertilidad y la altísima capacidad de retención de agua que los hace excelentes para sostener vegetación y ser sustento para actividades agrícolas. Adicionalmente, los andisoles se han relacionado con la captura de carbono y la mitigación del cambio climático global (Chesworth, 2008, p. 44 y 45).

Los andisoles constituyen el 12% de los suelos del país y son, junto con los vertisoles de las Sabanas del Atlántico, los suelos más productivos. En particular, los andisoles soportan toda la economía cafetera de la Cordillera Central (IGAC, 1996).

AGA - UnalMed (2012) reporta que los suelos formados a partir de cenizas volcánicas o con alto contenido de éstas, presentan porosidades mayores a las de depósitos piroclásticos muestreados en el área de estudio. Los primeros reportan porosidades cercanas al 78%, mientras que los segundos se encuentran entre 14 y 60%.

Si a esto se suma el hecho de que los espesores establecidos para los depósitos piroclásticos a través de métodos geofísicos (sondeos eléctricos verticales) oscilan entre 1,3 y 18,6 metros¹⁶, se puede concluir que la unidad no sólo es acuífera sino que, en conjunto con los niveles de roca meteorizados inmediatamente debajo (saprolitos de Complejo Cajamarca) es la principal responsable de la recarga de rocas cristalinas en el área. Esto quiere decir que, por su espesor y sus características de porosidad y permeabilidad, los suelos de la zona son objetos geológicos que permiten la infiltración, acumulación y transmisión de agua. Adicionalmente ponen dichas aguas en contacto con rocas fracturadas que sirven de basamento en la región, conformando sistemas complejos de aguas subterráneas.

La edad de estos suelos, establecida para lugares cercanos a La Colosa (Thouret y Van der Hammen, 1981), está alrededor de 3.000 años. Es decir que si uno de estos andisoles se remueve no se renovará en escalas de tiempo humano, situación que constituye un elemento de juicio en la

¹⁶ Resultados en AGA-UnalMed (2012), cap. 5, ps. 5-58 a 5-61

discusión sobre la posibilidad de compensar ante la afectación de objetos geológicos que no se pueden reemplazar ni volver a crear.

En conclusión, los suelos presentes en la zona de La Colosa tienen una capacidad excepcional para el almacenamiento de agua y consecuentemente para la regulación del ciclo hidrológico, así como condiciones muy favorables para la producción agrícola y la restauración ecosistémica, pero son muy frágiles y susceptibles a perder sus características si son removidos o compactados.

2.3. Aspectos hidrogeológicos

De acuerdo a datos y conclusiones del informe AGA-UnalMed (2012), en la zona del proyecto minero La Colosa se encuentran unidades con características de acuífero, es decir, unidades geológicas con la capacidad de almacenar y transmitir agua, en particular a través de las fracturas.

En atención a la descripción anterior, existen dos tipos de comportamiento en términos hidráulicos que se presentan en la Figura 8:

- **Medio poroso:** Aquellos materiales cuyo comportamiento hidráulico depende principalmente de los espacios intersticiales que son propios de sus procesos de formación (ej. arenisca, piedra pómez o depósitos de río).
- **Medio fracturado:** Aquellos materiales cuyo comportamiento hidráulico depende principalmente de las discontinuidades (fracturas y fallas) que se generan con posterioridad a su formación.

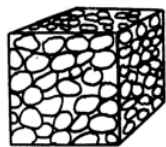


FIGURA 8. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE UN MEDIO POROSO (IZQUIERDA) Y UN MEDIO FRACTURADO (DERECHA)

FUENTE: [HTTP://DRANNABALOG.COM/INTERNET/FIG2-5.GIF](http://drannabalog.com/internet/fig2-5.gif)

El documento de AGA-UnalMed (2012) reconoce de forma explícita que las condiciones que ofrece el área (ambiente tectónico y régimen de esfuerzos) permiten la existencia de acuíferos por fractura, que pueden llegar a tener unos cientos de metros de espesor (perfiles esquemáticos). También se reconocen cuatro unidades hidrogeológicas en el área (UH1, UH2, UH3 y UH4) descritas en la Tabla 2. Nótese que en cuanto al comportamiento hidráulico se hace alusión a altas porosidades primarias o gran densidad de fracturamiento. Esto indica que las unidades geológicas que se encuentran en esa zona son esenciales para el ciclo del agua.

TABLA 2. CARACTERÍSTICAS COMPOSICIONALES E HIDRÁULICAS DE LAS UNIDADES RECONOCIDAS EN EL INFORME AGA-UNALMED (2012)
ELABORACIÓN PROPIA, CON BASE EN INFORMACIÓN DE GIL RODRÍGUEZ, 2010 Y ROMERO GUZMÁN, 2014

Unidad hidro-geológica	Unidad geológica	Descripción	Comportamiento hidráulico	Moda de abertura (cm)	Moda de densidad (fractura/m)
UH1	Complejo Cajamarca (Es, Ev, Ms)	Esquistos cuarzomicaáceos con grafito	Medio fracturado. Las cuarcitas, pueden, a futuro, convertirse en conductos de flujo". <i>Dado que las <u>características estructurales</u> son persistentes es probable que controlen el flujo de <u>agua subterránea</u>"</i>	0,1	3
		Esquistos cloríticoactinolíticos			
		Metasedimentitas		NO INFORMACIÓN	
		Cuarcitas		1,0	2
UH2	-----	Rocas hipoabisales dioríticas, porfíricas y dacíticas	Medio fracturado	0,1	4
UH3	Depósitos de vertiente y aluviotorrenciales (Qv, Qal)	Aluviones y coluviones	Medio poroso. Descrita como relevante en los flujos locales. Conductividades muy altas: los aluviotorrenciales 30,3 m/día mientras que para los de vertiente, 20,3 m/día. Estas unidades pueden considerarse acuíferos excepcionalmente buenos.	NO APLICA	
UH4	-----	Depósitos piroclásticos y perfiles de meteorización (suelos, saprolitos, etc.)	Medio poroso. La porosidad de tobas pueden estar entre 14% y 40%. Las cenizas volcánicas recientes pueden tener una porosidad de 50%, pero los procesos de meteorización pueden aumentar este valor a 60%	NO APLICA	

Como se puede ver, las unidades presentes en la zona del proyecto tienen importantes propiedades hidrogeológicas debido a las condiciones de fracturamiento y porosidad. Esto significa que revisten gran importancia en el ciclo del agua. No obstante, es necesario entender que este ciclo involucra tanto agua subterránea como agua superficial ya que existe una relación constante entre estas dos. Esta relación se expondrá a continuación.

2.3.1. Relación entre agua subterránea y agua superficial

Con esta primera aproximación a las condiciones del área y con el fin de tener una visión más completa del ciclo del agua en la cuenca, se puede establecer que existe una relación entre la hidrogeología y el agua superficial. Del análisis de los perfiles geológicos contenidos en el documento (AGA - UnalMed, 2012, Cap. 5 p.37-39), se puede concluir lo siguiente:

- La topografía actual y la variación de la densidad de las fracturas en función de la profundidad controlan el flujo del agua subterránea.
- En los primeros 100 a 200 metros de profundidad, la roca se encuentra intensamente fracturada y permite el flujo de agua subterránea. Este espesor permite inferir que las rocas pueden tener características de acuíferos (es decir, almacenar y transmitir agua) de importancia regional.
- El agua superficial (cauces) del área de estudio tiene una relación de estrecha dependencia con el agua subterránea. Esto en la medida en que las unidades de roca y depósitos actúan como fuente de recarga de las aguas superficiales. Es decir, en ciertas épocas del año, son los acuíferos (aguas subterráneas) los que recargan las quebradas y ríos.
- La zona más somera (de intenso fracturamiento, representada en los perfiles), caracterizada por fracturas de poca longitud y alta densidad se presenta hacia la parte alta de la cuenca. A medida que se desciende topográficamente, se encuentra un fracturamiento más persistente y continuo.

Con respecto al primer punto arriba expuesto y teniendo en cuenta la información consignada en los perfiles geológicos de AGA - UnalMed (2012) anteriormente citados, se pueden deducir los siguientes factores de control del flujo de agua subterránea:

- **Topografía actual:** El modelamiento del estudio da como resultado que el flujo de aguas subterráneas está determinado básicamente por la gravedad y no existen grandes fracturas que lo desvíen. Para AGA - UnalMed (2012) el flujo de aguas subterráneas está específicamente asociado a los depósitos y al perfil de meteorización (UH3 y UH4), es decir que el flujo de agua subterránea depende directamente de la existencia de estas unidades (depósitos y suelos). No obstante, al observar los perfiles geológicos generados en el marco de dicho estudio, se evidencia que el flujo de aguas en las zonas profundas de roca se comporta de la misma manera que el flujo subsuperficial, es decir, siguiendo la topografía, lo cual indica una gran incertidumbre en cuanto a la caracterización del flujo.
- **Variación de la densidad de fractura en función de la profundidad:** Los vectores graficados en los perfiles geológicos de AGA - UnalMed (2012) muestran que el flujo de aguas a través de las rocas depende también de la intensidad del fracturamiento de las mismas. La zona de mayor fracturamiento corresponde a los primeros 100 a 200 metros de profundidad y allí es donde se observa el comportamiento de flujo condicionado por las fracturas presentes.

Las fracturas cercanas a superficie, de menor persistencia y mayor densidad (parámetros análogos a longitud y cantidad) ubicadas hacia la parte alta de la zona de estudio son las que conducen el agua mientras que las fracturas más persistentes de menor densidad (ubicadas hacia la parte baja de la zona de estudio) no tienen mayor influencia en la dirección, aunque sí en el volumen de agua que en ellas circula. No obstante lo anterior, algunos estudios acerca de esfuerzos y deformación tectónica y de fracturas en Colombia infieren un patrón que se caracteriza por deformaciones muy profundas (Ujueta, 1988; Gómez, 1991; Poveda et al., 2015), que superarían con mucho el nivel de fractura de 200 metros propuesto. Esto significa que se estaría generando información incompleta acerca del eventual carácter acuífero de las rocas en todos los horizontes, desde los superficiales hasta los de grandes profundidades, y que es probable que el carácter de acuífero en estos horizontes supere lo planteado por AGA.

En conclusión, con respecto a los materiales geológicos presentes en la zona de La Colosa y su relación con el agua, se puede afirmar que:

- Las rocas y suelos almacenan agua y favorecen la interacción entre el agua superficial, subsuperficial y subterránea somera.
- Sin embargo, es evidente que existe incertidumbre respecto al comportamiento de las aguas subterráneas en toda la zona del proyecto minero, tanto en lo referente a las direcciones del movimiento, como en volúmenes, relaciones cuantitativas con aguas superficiales, depósitos volcánicos y andisoles
- Un análisis independiente a partir de la escasa información pública generada por la empresa permite inferir que todas las rocas pueden constituirse en acuíferos (que cuando afloran en superficie se denominan zonas de recarga) y que los materiales que las cubren (depósitos piroclásticos y andisoles) también son acuíferos de calidad excelente.

2.4. Aspectos climáticos

2.4.1. Precipitación

Generalmente, una de las principales características de la precipitación es su variabilidad a lo largo de una cuenca (en términos espaciales). Esta variación debe medirse por medio de estaciones localizadas a través de la cuenca pero en el río Bermellón la única estación existente es “Cajamarca automática” (código 2121519), la cual no proporciona la información necesaria para un análisis adecuado. Por consiguiente, para la caracterización de la precipitación en el área de interés fue necesario estimar el comportamiento de la precipitación con base en métodos geoestadísticos. Para ello, se tomó como referencia puntual la estación presente dentro de la cuenca del río Bermellón y como información complementaria los datos de las estaciones pluviométricas (PM) y pluviográficas (PG) disponibles en la cuenca alta del río Coello¹⁷.

El análisis se realizó en la cuenca del río Bermellón, que contiene la subcuenca de la quebrada La Guala, y esta a su vez contiene las microcuencas de las quebradas La Arenosa y La Colosa, todas las cuales muestran un comportamiento de precipitación similar, con diferencias menores al 1%. La precipitación mensual a lo largo del año oscila de 66,6 a 183 mm, con un promedio anual total de 870 mm. Los valores más bajos se registraron en los meses de abril a junio y los valores más altos en los periodos de octubre-noviembre y febrero-marzo. Esta tendencia es de tipo bimodal (dos periodos de lluvias y dos periodos secos), lo cual puede obedecer a una variación de la Zona de Convergencia Intertropical (Zea, León, & Eslava, 2000).

2.4.2. Temperatura

Para este análisis se realizó el mismo procedimiento descrito en el numeral anterior. A partir de los datos obtenidos de las estaciones seleccionadas se observó que la temperatura media en la cuenca del río Bermellón oscila entre 18,2 y 18,8 °C con un promedio anual de 18,5°C. Así mismo se evidenció que la época de altas temperaturas corresponde al periodo julio-agosto y enero-febrero y la época de temperaturas bajas a noviembre-diciembre y marzo-abril, mostrando una clara tendencia bimodal.

¹⁷ Las estaciones son: Las Juntas (2121002), El Secreto (2121008), El Placer (2121011), Las Delicias (2121013), La Cascada (2121015), El Darién (2121016), Hda. Palogrande (2121017), Toche (2121018), La Primavera (2121021), El Palmar (2121022), Cruz Roja (2121023), Interlaken (2121024), Cajamarca automática (2121519), Hda. Cucuana (2121513), Pastales (2121003), El Rancho (2121010), La Esmeralda (2121012) y El Plan (2121014).

2.4.3. Evapotranspiración

La evapotranspiración comprende tanto la evaporación (cambio de fase del agua a gas) como la transpiración (salida del agua de los estomas de la planta al ambiente) y se constituye junto con la precipitación, infiltración y escorrentía en uno de los procesos fundamentales del ciclo hidrológico.

La ausencia de instrumentos adecuados para la medición de las variables requeridas para la estimación de la evapotranspiración es un factor que condiciona los análisis. Por lo tanto, se utilizó la metodología propuesta por Thornthwaite (1957), la cual introduce el concepto de evapotranspiración potencial que consiste en evaluar la máxima evapotranspiración posible que se da en condiciones favorables. A partir del análisis de los datos se encuentra que la evapotranspiración oscila entre 64 y 72,9 mm con un promedio anual de 69 mm. Las épocas de mayor evapotranspiración se dan entre junio-julio y febrero, con una mínima en enero, mostrando una tendencia bimodal.

2.4.4. El Niño Oscilación del Sur (ENOS)

El fenómeno oceánico-atmosférico de gran escala conocido como El Niño o La Niña (ENOS) tiene incidencia sobre los países que se encuentran situados en la zona tropical de centro y Suramérica. Este fenómeno tiene un comportamiento cuasiperiódico con una recurrencia de 2 a 7 años (Threnberth, 1991) y consiste en el calentamiento anómalo de las aguas superficiales del océano Pacífico y la atenuación de los vientos alisios (IDEAM, 2002). Estas variaciones están asociadas con las de la circulación atmosférica global¹⁸.

Los fenómenos de El Niño y La Niña tienen una gran influencia sobre la precipitación, la temperatura y la humedad del suelo (Poveda, et al., 2001) y se pueden dar en escalas mensuales a multianuales, dependiendo de la intensidad del cada pulso. Estos fenómenos se representan en dos fases: Niño con temporadas secas prolongadas y Niña con temporadas de lluvia intensas y caudales máximos (Mesa & Poveda, 1996; Hastenrath, 2009; Montealegre y Pabón, 2002).

La región andina es una de las más susceptibles (Alvarez, Rueda & Poveda, 2011), tanto por anomalías positivas como negativas. La relación entre el fenómeno de El Niño y los caudales de las cuencas analizadas se presentará en el numeral 2.5.3 del presente documento.

2.5. Hidrología

2.5.1. Caudales

El caudal es el parámetro más representativo del ciclo hidrológico dado que es el resultado de las interacciones que se dan al interior de la cuenca. Para los análisis se usaron los registros de la estación "Pte. La Bolívar" (2121728) localizada en cercanías del punto de concentración de la cuenca del río Bermellón, la cual abarca un área de drenaje de 81 Km².

Según AGA-UnalMed (2012) la quebrada La Colosa aporta el 15,1% del caudal medio total del río Bermellón inmediatamente después del punto de desembocadura de la quebrada La Guala, mientras que La Arenosa aporta el 9,2%. Con base en esto, se realizó una interpolación de tipo lineal tomando como referencia los caudales registrados por la estación Pte. La Bolívar y se estimaron los caudales de las quebradas La Arenosa, La Guala y La Colosa.

Como se puede apreciar en la Figura 9, para las cuencas analizadas (Río Bermellón, Quebrada La Guagla, Quebrada La Arenosa y Quebrada La Colosa) se presenta una disminución de caudales de agosto a octubre y una otra más severa de enero a febrero, también se observa un aumento de caudales de abril a junio y en noviembre. El río Bermellón cuenta con un caudal medio anual de 2,33 m³/s, la quebrada La Guala con 0,58 m³/s, la quebrada La Arenosa con 0,24 m³/s y la quebrada La Colosa con 0,35 m³/s.

¹⁸ Para más detalles ver: <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/how-enso-leads-cascade-global-impacts>

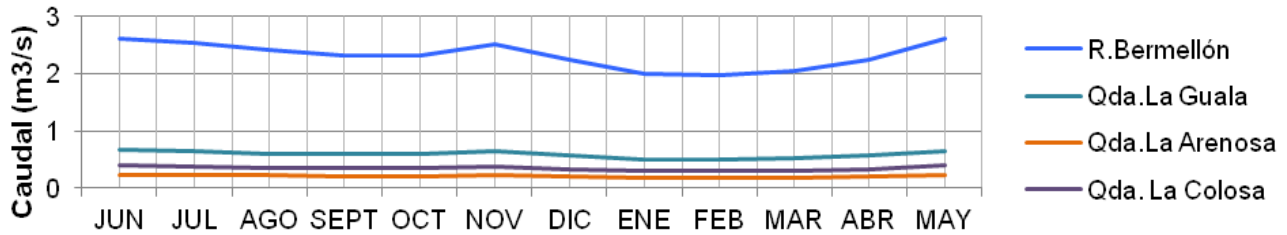


FIGURA 9. CICLO ANUAL DE CAUDALES PARA LAS CUENCAS DE LA ZONA DE ESTUDIO. ELABORACIÓN PROPIA

Las curvas de duración permiten estimar el caudal disponible para una corriente en un periodo de tiempo determinado. Como se puede ver en la Figura 10, en el caso de las corrientes asociadas a las cuencas analizadas, se puede afirmar que existe un caudal disponible para el 100% del tiempo de 0,65 m³/s para el río Bermellón, 0,16 m³/s para la quebrada La Guala, 0,10 m³/s para la quebrada La Colosa y 0,06 m³/s para la quebrada La Arenosa.

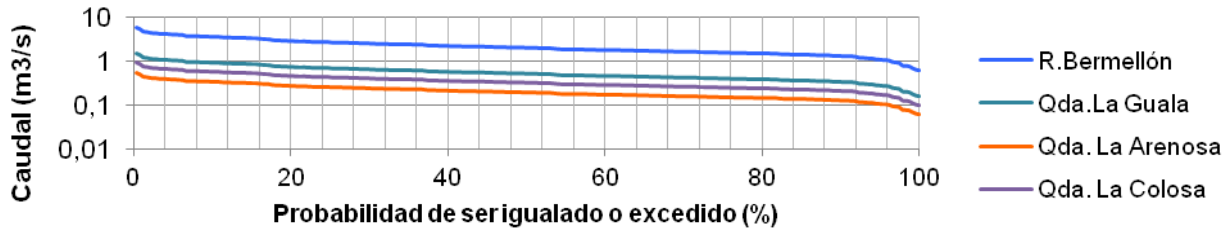


FIGURA 10. CURVAS DE DURACIÓN DE CAUDALES PARA LAS CUENCAS DE LA ZONA DE ESTUDIO. ELABORACIÓN PROPIA

Con base en estos datos, teniendo en cuenta las características de las cuencas descritas en los numerales anteriores y los resultados de las curvas de duración de caudales es probable que exista un aporte de aguas subterráneas a las aguas superficiales teniendo en cuenta que durante el periodo de tiempo analizado siempre existe un caudal disponible no proveniente de fuentes superficiales.

2.5.2. Balance hídrico

El balance hídrico se estimó mediante la metodología de Thornthwaite (1955), la cual señala que se presenta exceso de agua si la precipitación es mayor a la evapotranspiración y viceversa. Como se puede ver en la Tabla 3, en la zona del proyecto la mayoría del año se cuenta con exceso de agua exceptuando los meses de enero y febrero donde existe un déficit de 17,6 mm y 4,57 mm. También se puede apreciar que en noviembre y diciembre se presentan excesos de agua de tan solo 8,07 mm y 8,12 mm, lo que significa que están cercanos al déficit.

TABLA 3. BALANCE HIDRÍCO PARA LAS CUENCAS PRESENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO. ELABORACIÓN PROPIA

CUENCA	P-ET (mm)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
R.Bermellón	-17.67	-4.57	36.62	36.13	116.09	61.58	37.75	34.56	59.91	43.65	8.07	8.17
Qda. La Guala	-17.67	-4.57	36.62	36.13	116.09	61.58	37.75	34.56	59.91	43.65	8.07	8.17
Qda.La Arenosa	-17.67	-4.57	36.62	36.13	116.09	61.58	37.75	34.56	59.91	43.65	8.07	8.17
Qda.La Colosa	-17.67	-4.57	36.62	36.13	116.09	61.58	37.75	34.56	59.91	43.65	8.07	8.17

En conclusión, el periodo comprendido entre marzo y diciembre presenta excesos en los caudales mientras que el comprendido entre enero y febrero presenta déficit.

2.5.3. Ciclo anual de caudales considerando ENOS

Como primera aproximación, para cuantificar la influencia de los fenómenos de El Niño y La Niña sobre los caudales se realizó un análisis de tipo lineal seleccionando datos de la estación Pte. La Bolívar (2121728) para los meses en los cuales se registró influencia de El Niño o La Niña sin rezago de tiempo tomando como referencia el índice ONI del CPC/NOAA.¹⁹

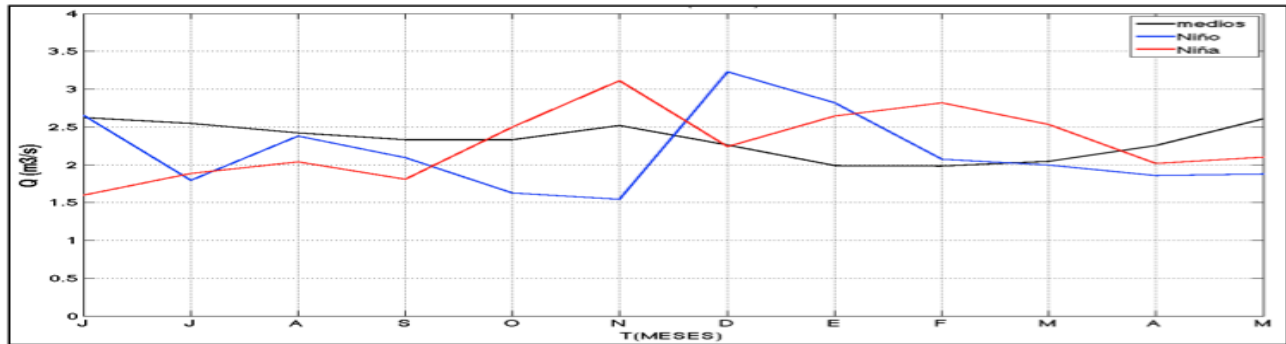


FIGURA 11. CICLO ANUAL DE CAUDALES PARA LA ESTACIÓN PTE. LA BOLÍVAR. ELABORACIÓN PROPIA

En la Figura 11 se muestra el caudal medio para el río Bermellón (línea negra). Las líneas roja y azul representan el comportamiento del caudal del río bajo la influencia de la fase seca y la fase húmeda, respectivamente. Estos resultados fueron comparados con el modelo institucional del IDEAM (2007) en el cual la región andina presenta una importante modulación por parte de El Niño, argumentando que los caudales disminuyen respecto a los medios multianuales durante la fase seca y viceversa para la fase húmeda.

No obstante, los análisis presentados para la cuenca del río Bermellón no coinciden con lo estipulado en el modelo del IDEAM. Esta diferencia en los resultados se puede atribuir a varios factores como la corta longitud de la serie de datos de caudales registrados, las diferentes escalas de trabajo, el reducido número de fenómenos muestreados.

En síntesis, para las cuencas presentes en el área (microcuencas, subcuencas y cuencas) se presentan situaciones de déficit de agua para los meses enero y febrero, que tienen implicaciones sobre el agua superficial disponible. Por otra parte, es probable que exista un aporte de aguas subterránea a las aguas superficiales.

2.6. Conclusiones

- Los estudios geológicos han detectado contenidos significativos de especies químicas tóxicas que acompañan al oro en las rocas de interés minero así como la presencia de pirita y otros sulfuros. En las condiciones actuales, estos químicos se encuentran en equilibrio dentro de las rocas que conforman las montañas, pero su extracción y exposición a la intemperie causarán efectos por la transformación de los minerales al oxígeno del aire, lo cual conlleva la acidificación de aguas por la transformación de pirita en ácido sulfúrico y la dispersión en aguas y suelos de las especies químicas tóxicas.
- En el área del proyecto también hay diversas fallas geológicas importantes, como la falla de Ibagué y la de Palestina, así como evidencias de fracturamiento intenso de rocas con efectos tanto en términos de generación de sismos como en la posibilidad de flujo de aguas subterráneas. La falla de Ibagué es considerada como una de las más activas en cuanto a

¹⁹ Para más detalle ver: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml

generación de sismos en Colombia y su trazo principal se encuentra a menos de 15 km del proyecto. La Falla de Palestina, de actividad incierta, estaría según la información disponible, justo debajo del lugar propuesto para la presa de relaves.

- Los suelos de la zona se componen parcialmente de material piroclástico (volcánico), constituyéndose en andisoles, fundamentales en el potencial agrológico y ecosistémico de la región. Éstos también coadyuvan en el flujo de aguas subsuperficiales y subterráneas. Su fragilidad ante la remoción y el sepultamiento ha sido documentado suficientemente para definir la inconveniencia de afectar un elemento natural que necesita miles de años para su formación.
- Con base en el estudio hidrogeológico analizado, existe incertidumbre en torno a la dirección preferencial y volúmenes de flujo del agua subterránea a través de las rocas. Tampoco se han planteado las zonas de recarga de acuíferos ni la interrelación de las aguas subterráneas y subsuperficiales con ríos y quebradas.
- La hidrología muestra déficit en la cantidad de aguas disponibles en el periodo seco, situación que puede agudizarse en escenarios de aumento de temperatura y disminución de precipitaciones, que son las que se han modelado en las comunicaciones de cambio climático generadas por la institucionalidad colombiana.

3. AMENAZAS

En esta sección se presentarán las amenazas potenciales del proyecto La Colosa por contaminación y desabastecimiento de agua, contaminación del aire y remoción y sepultamiento de suelos debido a la generación de desechos mineros tóxicos (material rocoso y relaves). Para aproximarse a los impactos sobre estos componentes, y dada la ausencia de información específica al respecto, es conveniente reiterar que este informe se basa en documentos de carácter general sobre el proyecto minero de La Colosa, información publicada por AGA y por otras empresas mineras como Greystar y su EIA para el proyecto de explotación minera de oro en Santurbán (Departamento de Santander, Colombia) y Grancolombia Gold en sus reportes técnicos públicos acerca del yacimiento de Marmato (Departamento de Caldas, Colombia), proyectos que comparten ciertos aspectos generales en cuanto a la escala, el tipo de yacimiento y la explotación planeada a cielo abierto.

Aspectos como los volúmenes de contaminantes liberados y utilizados en el proceso de beneficio, el uso de explosivos, la generación de desechos de botadero y relaves, entre otros, descritos en el Capítulo 1 del presente informe, son algunos de los factores que configuran la amenaza para la salud humana y de los ecosistemas cercanos al proyecto minero La Colosa.

Asimismo las características geológicas, hidrológicas y fisiográficas del área son elementos específicos que deben tenerse en cuenta al hacer una evaluación de la magnitud de impactos o daños socioambientales.

Estos factores y elementos deberán ser estudiados desde perspectivas técnicas y ajustados a medida que se genere conocimiento. No obstante, con la información utilizada para la realización de este informe se pueden identificar cuatro tipos de amenazas e impactos desde una perspectiva geoambiental:

- Amenaza por ruptura o falla de la presa de relaves
- Impactos de la exploración sobre la calidad del agua e impactos de la explotación sobre la calidad y cantidad de agua

- Impacto en la calidad de aire durante la explotación por residuos de explosivos, material particulado proveniente de las voladuras, emisiones de vehículos, etc.
- Impacto en el ciclo hidrológico y en los ecosistemas debido a remoción de los andisoles

3.1. Amenaza general: Ruptura de la presa de relaves

Una de las principales amenazas asociadas a los proyectos mineros a cielo abierto es la ruptura de presas de relaves (estructura que contiene los lodos tóxicos de la mina) y el derrame de éstos, generando impactos negativos a la salud y al ambiente.

Si bien el factor más relevante para el caso de La Colosa en cuanto a la posible ruptura de la presa de relaves es la sismicidad, existen otros como el cambio del comportamiento de las variables ambientales (precipitación, temperatura, humedad en el suelo, entre otros) agudizado por el cambio climático. Igualmente, hay extensa evidencia sobre fallas producidas por diseños deficientes. Es decir, en muchos casos, la ruptura de presas se ha dado no por eventos sísmicos sino por errores en su planeación y construcción.

Un ejemplo de ruptura de presas de relaves por fallas estructurales es el que ocurrió el 5 de noviembre de 2015 en la mina de hierro a cielo abierto de Bento Rodrigues en el estado de Minas Gerais (Brasil). El caso de esta mina, propiedad de Samarco (un emprendimiento conjunto entre Vale S.A. y BHP – Billiton) ha llamado la atención sobre los inmensos riesgos de estas estructuras. Este desastre fue calificado por el Gobernador de Minas Gerais como la peor tragedia ambiental ocasionada por un evento particular en el país²⁰ dado que generó el vertimiento de 62 millones de metros cúbicos de lodo tóxico aguas abajo.

Los relaves afectaron a ciudades ubicadas a 400 km de la presa e incluso se reportaron afectaciones en el Océano Atlántico (Organon, 2015, Skytruth, 2015). Teniendo en cuenta el tipo de mina (a cielo abierto) y la consecuente disposición de parte de los residuos húmedos en una presa de relaves similar a la de Bento Rodrigues, es posible tener una idea de los impactos sobre el medio ambiente que causaría la ruptura de la presa que pretende construir AGA en el marco del proyecto La Colosa.

La comparación entre la mina La Colosa y la mina en Bento Rodrigues, Brasil muestra que la presa de relaves de la primera presenta condiciones aún más desfavorables y peligrosas. Esto se debe a la configuración de alta montaña, fuertes pendientes y sismicidad activa de la zona en donde se pretende construir. Estas características se ilustran en los perfiles de los ríos afectados por la presa de relaves de cada proyecto (Figura 12), los cuales indican claramente que la energía potencial, teniendo en cuenta los datos de altura sobre el nivel del mar (de 2950 metros) y la pendiente²¹ en los primeros 100 km de La Colosa, son mucho mayores que los de la mina Bento Rodrigues (920 metros).

Ello sugiere la posibilidad de que en caso de presentarse una ruptura de la presa de relaves de La Colosa, ya sea por fallas en la estructura o por un evento sísmico en la zona, se afectarían no sólo poblaciones aledañas sino el valle del río Magdalena (por cientos de kilómetros) e incluso el Mar Caribe. Este cálculo no se realiza con base en un modelo matemático detallado del tránsito de los lodos tóxicos ya que las características de diseño son aún desconocidas sino con base en un comparativo entre las condiciones generales del proyecto La Colosa y la mina de Bento Rodrigues. Es competencia de las autoridades reguladoras, tanto ambientales como mineras exigir este tipo de análisis detallados y a la empresa AGA, elaborar los estudios correspondientes.

²⁰ Consultado en línea [10.01.15], Diario 247 Disponible en: <http://es.brasil247.com/es/247/sociedad/6655/Dilma-pidi%C3%B3-investigar-causas-de-tragedia-en-MG-14-desaparecidos.htm>

²¹ Variación de altura respecto a la distancia



FIGURA 12. COMPARACIÓN DE PERFILES DE ELEVACIÓN DE LOS TRANSECTOS: QUEBRADA LA COLOSA – MAR CARIBE (ROJO) Y PRESA DE RELAVES BENTO RODRIGUES – OCEANO ATLÁNTICO (VERDE). ELABORACIÓN PROPIA.

A pesar de que las presas se construyen para durar a perpetuidad, las roturas de las mismas son relativamente frecuentes en el mundo. Desde 1970 se han registrado 70 eventos de gran magnitud socioambiental, que han resultado en daños sobre los ecosistemas, las tierras de cultivo y en impactos sobre las comunidades, incluyendo la pérdida de más de mil vidas humanas en total (WISE, 2011, en Hudson-Edwards, et al., 2011).

Para el contexto global, cabe resaltar el análisis realizado por parte de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD por sus siglas en inglés), la cual estudia y propone metodologías para mejorar los sistemas constructivos de presas en el mundo. Dentro de sus evaluaciones han analizado varias presas de relaves y en el Boletín 121 presentan un compilado de 221 casos reportados de fallas o accidentes en estas estructuras, incluyendo los 70 eventos ya citados (ICOLD, 2001). Los resultados de esta compilación se presentan en la Figura 13 y se identifica el tipo de embalse o método constructivo, material usado, tipo de incidente y causa. El porcentaje de ruptura por sismo es del 16%, las causas restantes (84%) son atribuibles a fallas en diseño, construcción y operación.

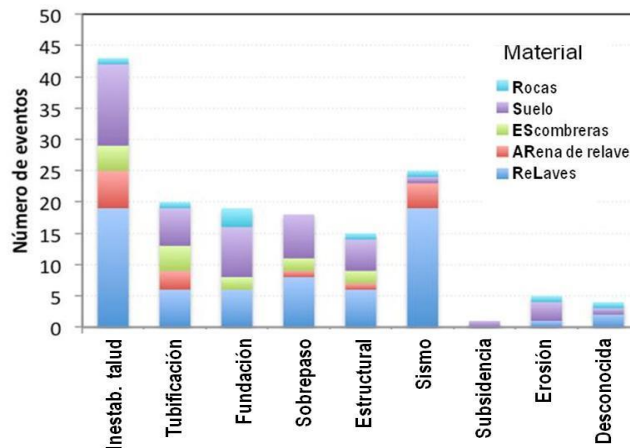


FIGURA 13. CLASIFICACIÓN DE LOS CASOS REPORTADOS EN EL BOLETÍN 121 DEL ICOLD DE ACUERDO CON EL TIPO DE MATERIAL REPRESADO Y LA CAUSA DEL INCIDENTE. ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN ICOLD (2001).

Con base en el análisis realizado por ICOLD (2001) se puede concluir que en general existe una subestimación de los factores que inciden en la estabilidad de estas estructuras. El estudio encontró que las principales causas de ruptura son: inestabilidad de taludes, tubificación, errores en el diseño de la fundación y de la estructura y rebose de la presa (sobrepasso). Cabe destacar que la principal causa de ruptura es la inestabilidad de taludes y que podría estar asociada a eventos extremos de precipitación como factor detonante, asociados al cambio climático.

En cuanto a las consecuencias de la ruptura de presas, Rico et al. (2008a y 2008b) establecen diferentes relaciones entre el volumen de relaves o aguas liberado y la distancia recorrida por los residuos; estas relaciones las hacen tanto para presas de relaves como para presas de almacenamiento de agua. También relacionan el volumen acumulado de residuos con el volumen liberado. Para el caso de distancias recorridas, el modelo sugiere que para presas con un volumen de relaves de 10 millones de m³ (cifra mucho menor que los datos estimados para los relaves de La Colosa) la distancia que recorrerían los residuos está entre 50 y 700 km. De igual forma, el volumen de residuos liberado se encontraría entre 2 y 8 millones de m³.

Los rangos establecidos dan una aproximación del impacto que generaría la ruptura de la presa de relaves del proyecto. Asimismo, se debe tener en cuenta que el tránsito del flujo de lodos tóxicos y el transporte de sedimentos depende de la energía potencial disponible, lo cual quiere decir que las presas ubicadas a gran altura sobre el nivel del mar y en valles encañonados tienen una alta probabilidad de transportar relaves a grandes distancias (ver Figura 12). Este es el caso de La Colosa.

En conclusión, una de las principales amenazas en minería de gran escala a cielo abierto es la ruptura de presas de relaves, la cual conlleva una liberación abrupta de grandes volúmenes de lodos tóxicos que tienen la particularidad de recorrer grandes distancias fácilmente. Se producen principalmente por errores de diseño e impactan muy negativamente la salud de las comunidades y los ecosistemas que afectan.

3.2. La amenaza sísmica

Teniendo en cuenta que en la sección anterior la amenaza sísmica se señaló como uno de los factores principales en la ruptura de presas de relaves, a continuación se presentará un análisis más detallado de las características de esta amenaza en el contexto del proyecto La Colosa.

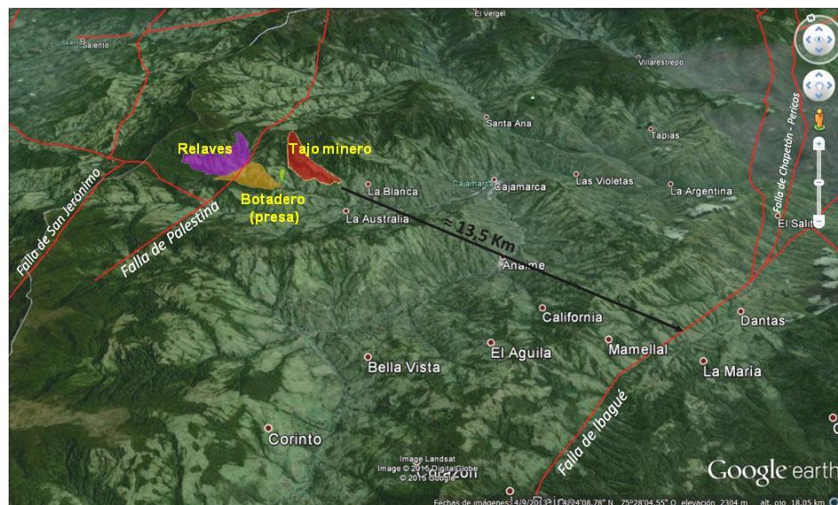


FIGURA 14. INFRAESTRUCTURA DE LA COLOSA A 2045 (CON BASE EN PRESENTACIÓN DE AGA AL CONCEJO DE IBAGUÉ) Y MARCO TECTÓNICO (BASADO EN OSORIO ET AL., 2008 Y EN GÓMEZ ET AL., 2015)

Inicialmente AGA planteó la posibilidad de construir la presa de relaves en el municipio de Piedras, Tolima, no obstante, dada la oposición de la comunidad, materializada en los resultados de la consulta popular, fue necesario replantear la ubicación de la misma, proyectada ahora en el municipio de Cajamarca, Tolima.

Para el caso de la presa de relaves en Piedras, la Contraloría General de la República en su comunicación a los ministerios de Minas y Energía y de Ambiente y Desarrollo Sostenible, a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales, a la Agencia Nacional de Minería y a Cortolima (Oficio de 2013 con radicado EE0106008) planteó de forma clara la amenaza sísmica generada por la falla

de Ibagué, así como las grandes incertidumbres relacionadas con la teoría de la sismorresistencia, si el epicentro de un eventual terremoto se encuentra a menos de 25 km de la estructura. Esto es relevante ya que, como fue evidenciado por la Contraloría, los sismos han generado rupturas de presas²².

En el caso de La Colosa, la presa de relaves que ahora se proyecta construir en el municipio de Cajamarca (AGA, 2014c) se encuentra diseñada sobre el trazo de la falla de Palestina y a menos de 15 km de la falla de Ibagué. Como se expuso anteriormente, ambas fallas pueden considerarse como fallas activas y por ende representan una grave amenaza sísmica.

En conclusión, a menos de 15 km del proyecto minero hacia el sur y el oriente se encuentra la falla de Ibagué, con actividad histórica fuerte. La falla de Palestina, sobre la cual se planea ubicar la presa de relaves ha sido considerada por estudios recientes como activa (con eventos de baja a intermedia magnitud), lo cual puede llegar a afectar la estructura lo cual podría conllevar la generación de un desastre de magnitud inconmensurable.

3.3. Amenazas sobre el agua

El agua es indispensable para el funcionamiento de los ecosistemas y el abastecimiento de comunidades humanas tanto para consumo doméstico como para el desarrollo de actividades económicas. La minería a cielo abierto, como la que se planea realizar en La Colosa, implica procesos que disminuyen su disponibilidad y reducen su calidad. A continuación se describen, en primer lugar, los impactos que ha tenido la etapa exploratoria sobre la calidad de aguas y, en segundo lugar, las amenazas sobre el agua que conllevaría una eventual etapa de explotación.

3.3.1. Indicios de contaminación por la exploración

La Resolución 814 de 2009 del MADS mediante la cual se aprobó la sustracción de 6,39 hectáreas de la RFC, con sus respectivas modificaciones, estableció obligaciones para la empresa AGA entre las cuales está el monitoreo de los aspectos hidroclimatológicos que incluyen la evaluación fisicoquímica de la calidad del agua en las fuentes cercanas y donde se realizan vertimientos de aguas domésticas²³ producidos durante la etapa exploratoria. El seguimiento, además de ser ejecutado por AGA en el marco del Plan de Manejo Ambiental (PMA), debe estar acompañado de un programa de monitoreo ejecutado por una entidad científica reconocida. En este caso, las universidades de Caldas, del Quindío y Nacional sede Medellín, han sido quienes han venido elaborando informes periódicos en el marco del plan de monitoreo ambiental del área de influencia del proyecto de exploración minera La Colosa establecido en la Resolución 1567 de agosto de 2009.

La información empleada para el análisis de calidad del agua se encuentra en los Informes de Cumplimiento Ambiental (ICA) presentados por la empresa al MADS desde junio de 2010 hasta febrero de 2014, y a los primeros seis (6) informes de monitoreo elaborados por las universidades, los cuales abarcan el periodo comprendido entre junio de 2012 y febrero de 2015. Los monitoreos incluyen puntos aguas arriba y aguas abajo del vertimiento de aguas domésticas efectuado sobre la quebrada La Colosa (permiso otorgado por Cortolima mediante Resolución 2244 de 2011), y La Arenosa, así como la red de monitoreo diseñada en cumplimiento de lo dispuesto en la Resolución 1567 de 2009 del MADS. La Figura 15 presenta la red de monitoreo de aguas superficiales y subterráneas dispuesta en el área del proyecto La Colosa.

²² En el oficio de radicado número 2013EE0106008, la Contraloría General de la República señala entre otros, los casos de rotura de presas de relaves desencadenadas por sismos de las minas El Teniente y El Cobre (Chile, 1965)

²³ Según la Resolución 0631 de 2015, las aguas residuales domésticas se clasifican en: 1) descargas de retretes y servicios sanitarios y 2) descargas de sistemas de aseo personal (duchas y lavamanos), áreas de cocinas y cocinetas y de las pocetas de lavado de elementos de aseo y lavado.

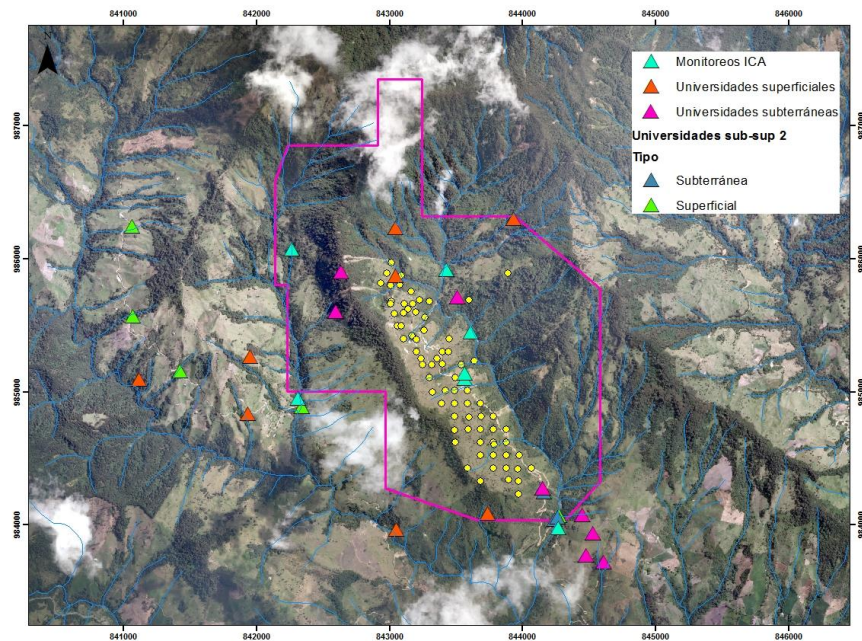


FIGURA 15. REDES DE MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA
FUENTE: MADS, 2015. ELABORACIÓN PROPIA

3.3.1.1 Resultados del monitoreo presentado por AGA

Respecto a la selección de parámetros, se tuvieron en cuenta aquellos que indican alteraciones en la calidad del agua asociada principalmente al aporte de sólidos disueltos totales (SDT), pH, concentración de iones (conductividad), parámetros biológicos potencialmente presentes en vertimientos de aguas domésticas que pueden llegar a las fuentes hídricas (coliformes totales y fecales) y otras sustancias tóxicas utilizadas en los procesos de perforación (bario). Los análisis a continuación reportados corresponden a monitoreos de aguas superficiales. Para las aguas subterráneas no hay monitoreo por parte de la empresa o no ha sido reportado en los ICA.

En las secciones a continuación se presenta la descripción de las condiciones fisicoquímicas de los principales flujos hídricos localizados dentro del proyecto de La Colosa.

- Quebrada La Colosa

El registro de datos de pH analizado muestra un comportamiento con tendencia a la alcalinización aguas abajo, superando a lo largo de los años evaluados el valor presentado en la línea base²⁴ de 7,38 que supera hasta seis veces los valores aguas arriba del vertimiento.

Los parámetros sólidos disueltos totales (SDT) y conductividad, que representan el contenido de sales inorgánicas disueltas en el agua, indican un aumento sustancial aguas abajo del vertimiento.

En este punto, los valores de estos indicadores superan hasta por cuatro veces los valores de la línea base. En los análisis de calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K), se presenta una tendencia creciente en las concentraciones aguas abajo, especialmente en el contenido de calcio (Ca).

Asimismo, y teniendo en cuenta la naturaleza doméstica de los vertimientos realizados por AGA en la quebrada La Colosa, se realizó el análisis de presencia de microorganismos (coliformes totales y fecales). En ambos casos, el número de microorganismos aumenta aguas abajo del vertimiento

²⁴ La línea base corresponde a valores de referencia de parámetros de calidad del medio, en este caso, del agua, determinados en un escenario sin proyecto. Estos datos fueron tomados de los ICA presentados periódicamente al MADS.

efectuado por la empresa. Los coliformes totales alcanzaron 6.900 microorganismos por cada 100 ml de agua. Por su parte, los coliformes fecales arrojaron lecturas de hasta 500 microorganismos por cada 100 ml. Esto evidencia que se incumple con lo establecido en los artículos 42 (contacto primario) y 43 (contacto secundario) del Decreto 1594 de 1984.

Finalmente, los reportes del monitoreo evidencian la presencia de bario (hasta 0,17 mg/L) en las aguas de la quebrada La Colosa, cuyo origen podría asociarse al uso de barita (sulfato de bario) en los procesos de perforación. Ya que en los ICA no se presentó valor de línea base para este parámetro, en este informe se emplea el correspondiente al artículo 45 del Decreto 1594 de 1984 (0,1mg/L) el cual señala los criterios de calidad admisibles para la destinación de las aguas para preservación de flora y fauna, en aguas dulces, frías o cálidas y en aguas marinas o estuarinas. El límite establecido es claramente excedido.

- Quebrada La Arenosa

De forma similar a lo que sucede en la quebrada La Colosa, el comportamiento de la alcalinidad en la quebrada La Arenosa muestra una tendencia creciente aguas abajo del vertimiento, con valores que superan los 70 mg/L de carbonato de calcio y que coinciden con los valores de pH más altos registrados en el año 2013. La parte baja de la quebrada reporta valores de pH que superan la línea base de 7,45 unidades reportados en los ICA, alcanzando valores máximos de 8,5 (es decir, algo más de 10 veces más alcalinas).

Por su parte, el comportamiento de SDT y conductividad registra un aumento aguas abajo, alcanzando un máximo de 90,4mg/L y un consecuente aumento de la conductividad de 180,9 μ S/cm (mes de marzo de 2013), que supera en seis veces el valor de línea base reportado para esta quebrada aguas abajo (31 mg/L). Especies químicas como calcio (Ca), magnesio (Mg) y potasio (K) muestran una tendencia creciente en las concentraciones aguas abajo, especialmente en el caso del calcio, situación también evidenciada en la quebrada La Colosa.

Con respecto al número de microorganismos presentes en la quebrada La Arenosa, al igual que en la quebrada La Colosa se indica que los valores establecidos en el Decreto 1594 de 1984 son sobrepasados en coliformes fecales para uso agrícola y contacto primario (Artº 40 y Artº 42). Por su parte, los coliformes totales incumplen los artículos 42 y 43 con valores máximos de 1.600 microorganismos por cada 100 ml.

Además se identificó la presencia de bario en las aguas de la quebrada La Arenosa, excediendo el valor establecido en el artículo 45 del Decreto 1594 de 1984 (0,1 mg/L). El máximo valor reportado fue de 0,574 mg/L en febrero de 2014.

3.3.1.2 Resultados del monitoreo de universidades

En cumplimiento de la Resolución 1567 de 2009, AGA ha contratado distintas universidades para realizar el monitoreo ambiental en la zona de influencia del proyecto minero La Colosa. Los resultados deben ser presentados periódicamente al MADS. En los reportes de los informes de las universidades se resalta la presencia en el agua de especies químicas como el arsénico (As), en concentraciones que variaron entre los 0,002 y 0,09 mg/L. Los valores más altos se registraron aguas abajo de la quebrada La Arenosa (0,09 mg/L) y el río Coello (0,025 mg/L), ambos monitoreados durante el año 2013. La Resolución 2115 de 2007 (límites permisibles de sustancias químicas en el agua para consumo humano) incluye al arsénico como uno de los contaminantes de interés, estableciendo una concentración máxima admisible de 0,01 mg/L. Este valor es excedido hasta nueve veces.

Respecto a la quebrada La Colosa, si bien no presenta concentraciones tan elevadas de arsénico, algunos de los resultados de laboratorio evidencian que los límites de detección para este contaminante no son los adecuados. Por ejemplo, se han empleado límites de detección menores a

0,05 mg/L y en la norma se establece una concentración de 0,01mg/L. Es probable que se estén superando los límites admisibles pero la forma en que se mide no permite evidenciarlo.

Frente a los puntos de monitoreo de aguas subterráneas, los informes presentados por las universidades los definen bajo dos clasificaciones: surgencias naturales y pozos profundos o saltantes. De los resultados obtenidos se destaca la presencia de arsénico en concentraciones que superan lo dispuesto en la Resolución 2115 de 2007 de 0,01 mg/L en el punto P26 (manantial cerca a la quebrada La Arenosa). El valor alcanzado de arsénico en este punto fue de 0,05 mg/L.

Asimismo, se encontró que los valores de coliformes totales y fecales exceden en decenas o centenas de veces lo dispuesto en los artículos 38 (consumo humano), 42 (contacto primario), 43 (contacto secundario) del Decreto 1594 de 1984, con valores que alcanzan los 242.000 microorganismos/100ml para totales y hasta 1.600 microorganismos/100ml para fecales registrados durante el 2013 en los puntos P9 (nacimiento cercano a la quebrada La Colosa), y P26, respectivamente.

Las lecturas de los pozos profundos o saltantes también reportan la presencia de arsénico. Las perforaciones de las plataformas A7 (piezómetro profundo 2), S25 (piezómetro somero 5), PZ3-J9-P, y PZ4-P23-P, registraron concentraciones entre 0,011 y 0,55 mg/L, siendo la lectura más alta la reportada en el pozo PZ2-A7-P localizado en la cuenca La Arenosa. Los tres pozos restantes se encuentran en la cuenca de la quebrada La Colosa. En cuanto a los parámetros microbiológicos, los valores más altos se encuentran en los pozos PZ5-S25-S, PZ2-A7-P, PZ4-P23-P, y PZ5-S25-S, con un máximo de 242.000 microorganismos por cada 100 ml para totales y 3.500 microorganismos por cada 100 ml para fecales.

En síntesis, se puede afirmar que aún en la etapa de exploración, se evidencian indicios de disminución de calidad de agua superficial, excediendo algunos límites consignados en las normas aplicables. Lo anterior puede relacionarse con vertimientos tanto de aguas domésticas (que generan aumento en número de microorganismos) como de sustancias conteniendo elementos como calcio y bario (que generan mayor alcalinidad).

3.3.1.3 Consideraciones al control y seguimiento de la calidad del agua en el proyecto La Colosa

Los datos del monitoreo de calidad del agua reportados tanto en los ICA como en los informes de las universidades evidencian que existe deterioro en las aguas localizadas en el área de influencia del proyecto La Colosa por aumento de algunos elementos químicos. Existen también indicadores de contaminación biológica aguas abajo del área de exploración minera. Esta situación es relevante si se considera que los impactos de esta actividad son mucho menores si se comparan con una eventual etapa de explotación.

Como se expuso anteriormente, la presencia de bario puede indicar una relación con las actividades de perforación y los vertimientos domésticos se podrían vincular con la presencia de materia fecal aguas abajo del vertimiento de AGA. Cabe resaltar que casi la totalidad de predios que conforman las cuencas de La Colosa y La Arenosa son de propiedad de AGA²⁵ y que esta empresa no reporta otro tipo de actividades aguas arriba a las cuales pueda atribuirse la contaminación.

Es de mencionar que no hayan sido objeto de estudio en la línea base ambiental, elementos y sustancias como cadmio, níquel, cromo, plomo, zinc, cobalto ni cianuro, y de manera particular arsénico y mercurio cuya existencia en el área ha sido previamente documentada (Botero (1945);

²⁵ De acuerdo con la información aportada por el Colectivo Socio Ambiental Juvenil de Cajamarca (Cosajuca), y presentada en la audiencia pública de la Comisión Quinta del Congreso de la República de Colombia, AGA ha adquirido la totalidad de predios localizados en las cuencas La Colosa y La Arenosa, salvo el predio denominado La Plancha.

Buitrago & Buenaventura (1975). Asimismo, en algunos casos los monitoreos han cambiado su localización lo que implica que las mediciones son dispersas y no representativas en el tiempo.

En síntesis, las actividades de exploración llevadas a cabo en las cuencas de las quebradas La Colosa y La Arenosa, según lo reflejado en los ICA y el monitoreo de las universidades, ya parecen haber generado impactos negativos relacionados con los vertimientos domésticos y las aguas de perforación. Estos impactos se evidencian en parámetros como alcalinización del agua, aumento de la conductividad y de las concentraciones de bario, arsénico, coliformes totales y fecales y de sólidos disueltos totales excediendo la normativa aplicable.

3.4. Amenazas en caso de desarrollarse el proyecto

Para estimar la amenaza general y las amenazas específicas del proyecto minero de La Colosa es útil hacer referencia a los principales fenómenos generadores de impacto ambiental negativo que ocurren en áreas mineras. Estas amenazas específicas se describirán a continuación.

3.4.1. Drenaje ácido de mina y liberación de metales pesados

Una de las amenazas sobre la calidad de aguas superficiales y subterráneas durante y tras la ejecución de un proyecto minero de oro es la generación del drenaje ácido de mina (DAM). Este fenómeno se da por la alteración de las aguas provenientes de zonas mineras debido a una serie de reacciones geoquímicas que involucran agua, roca y aire, debido a la exposición de grandes volúmenes de desechos rocosos a condiciones atmosféricas que resultan en acidificación (Fierro, 2012). Esta alteración tiene implicaciones nocivas, en particular el aumento en la concentración de sulfatos, hierro, aluminio y metales pesados (mercurio, plomo, cadmio, arsénico, níquel y cromo) en el agua. Todo ello disminuye la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos, contamina el suelo y las plantas del área y es nocivo para la salud humana (Zhao et al., 2011).

Tanto los metales como los sulfatos van aumentando su concentración a medida que el pH disminuye, alcanzando así valores de concentración de hasta 100.000 mg/l para los metales (INAP, 2009). Según Eckenfelder (2000), en valores de pH menores a 3 o mayores a 12 la totalidad de metales pesados se disuelven en el medio.

La extracción minera expone grandes volúmenes de roca que se encontraban en el subsuelo completamente aisladas del aire. En el caso de la minería de metálicos, las rocas contienen altas concentraciones de sulfuros²⁶ (Garzón, 2008; Tapia, 2011) formados bajo ambientes reductores (es decir, sin oxígeno). El más abundante es la pirita, cuya oxidación forma ácido sulfúrico (H_2SO_4) siendo este el responsable del pH ácido característico del drenaje ácido de mina (Gaviria et al., 2013). En la reacción de oxidación una parte de pirita genera 1,64 partes de ácido sulfúrico. Esta reacción es inevitable: siempre que la pirita se exponga al aire y al agua, se oxidará y generará acidez, debido a que la termodinámica de la reacción química es altamente espontánea y exotérmica (libera calor) en condiciones ambientales.

El aumento de temperatura crea las condiciones para la ocurrencia de procesos bioquímicos asociados con bacterias que aceleran las reacciones (Menadier Stavelot, 2009; Ángel, A., 2012), es decir que a medida que se libera calor durante la reacción química, aumenta la actividad bacteriana con lo cual se favorece aún más la oxidación de la pirita (y la acidificación del agua) y el proceso se retroalimenta.

En cuanto a metaloides, el arsénico es el más destacado por su alta toxicidad y estrecha relación con aguas que drenan zonas mineras, con el agravante de que se puede mantener soluble en ciertas formas químicas en cualquier rango de pH y Eh (potencial de oxidación-reducción) (Gill, 2015).

²⁶ Los sulfuros (en estado de oxidación -2), son la forma predominante de azufre en el interior de la Tierra.

Las consecuencias en la contaminación del agua en este tipo de proyectos son inmediatas dado que las transformaciones químicas en las rocas extraídas inician al exponer las rocas al aire. En efecto, el proceso de meteorización²⁷ de rocas con pirita diseminada se acelera sustancialmente en proyectos mineros, tal como ocurre en la antigua mina de caliza La Siberia (La Calera, Cundinamarca). La liberación de sustancias perjudiciales al ambiente (sulfatos, arsénico, etc.) se acelera en una tasa proporcional al proceso de alteración (Cuida, 2014),.

Se pueden definir tres fuentes de generación de DAM asociadas a minería de oro (Dold, 2003): i) Botaderos de desechos rocosos no mineralizados; ii) Relaves, represados generalmente taponando valles y iii) Tajos mineros (o las paredes de túneles y galerías en minería subterránea). Es importante anotar que en los relaves inicialmente se tienen procesos de liberación de tóxicos relacionados con ambientes hiperalcalinos propios de la cianuración, pero progresivamente se acidifican e hiperacidifican dependiendo de los sulfuros disponibles a oxidarse (Dold, 2003).

Del proyecto La Colosa se desconoce, entre otras cosas, el volumen de roca que será dispuesto en los botaderos. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra el cálculo aproximado basado en proyectos de características similares como se explicó al inicio del numeral 3.

TABLA 4. CÁLCULO DE LA CANTIDAD DE PIRITA (PY) Y ÁCIDO SULFÚRICO ASOCIADA AL PROYECTO AURÍFERO LA COLOSA, BASADO EN COMPARACIONES CON LOS PROYECTOS AURÍFEROS DE GRAMALOTE Y ANGOSTURAS
ELABORACIÓN PROPIA

Masa de desechos de roca (M Ton)		Masa de roca NO MINERALIZADA (70%) (Mton)	Masa de Py (Mton)		Masa ácido sulfúrico (Mton)
Mínimo	1257,3	880	1% (mín)	8,8	14,3
			7% (máx)	61,6	99,8
Máximo	4120	2884	1% (mín)	28,8	46,7
			7% (máx)	201,9	327,0

A partir de lo anterior se puede concluir que se estarían exponiendo en el botadero (estructura de contención de relaves) entre 8,8 y 201,9 millones de toneladas de pirita, las cuales terminarían generando entre 14,3 y 327 millones de toneladas de ácido sulfúrico. Este es un dato alarmante, sobre todo si se tiene en cuenta que sería liberado en la parte alta de una cuenca densamente poblada. En los documentos técnicos de AGA, disponibles en su página web, se ha planteado una presa de relaves de por lo menos 1.420 millones de toneladas (Tapia, 2011) con 905 millones de toneladas que corresponden a roca mineralizada pulverizada (AGA, 2012) y que eventualmente puede liberar al ambiente ácido sulfúrico durante décadas e incluso siglos.

Estas aproximaciones teóricas ya se están evidenciando en la explotación minera de pequeña escala y la exploración minera de gran escala en los municipios de Vetas y California en Santander. A partir del EIA del proyecto Angosturas presentado por Greystar (2009), de las labores de campo y análisis de laboratorio de la comisión de vista a la zona minera de Santurbán, coordinada por la Sociedad Santandereana de Ingenieros en 2012 y el trabajo de Ángel (2012), se georreferenciaron los puntos donde se tomaron parámetros fisicoquímicos y concentraciones de metales pesados en aguas superficiales y subterráneas (ver Figura 16 y Figura 17).

El área minera de Vetas y California presenta valores de acidez anómalos tanto en aguas superficiales como en aguas subterráneas. En las primeras, se reportó un valor mínimo de pH de 1,2 mientras que el agua subterránea registra un valor de pH de 3,16 en el túnel Veta de Barro. Aunque la distribución de los puntos con información de agua subterránea es escasa, todos se encuentran por debajo de pH 6, es decir que corresponden a aguas ligeramente o muy ácidas. En cuanto al contenido de metaloides tóxicos, se observan aguas superficiales donde la concentración de arsénico

²⁷ Alteración al ser expuestas al aire y al agua.

excede los límites recomendados por la OMS (0,01 mg/l) e incluso se obtiene un dato de hasta 0,15 mg/l, es decir 15 veces sobre lo recomendado. En las aguas subterráneas, se tienen valores de arsénico iguales al límite máximo recomendado.

En metales, los valores de concentración de plomo en aguas superficiales y subterráneas se encuentran bajo 5 mg/l. Este valor corresponde al límite de detección del laboratorio que realizó el análisis, por lo cual no es posible saber si se excede el valor máximo de 0,01 mg/l recomendado por la OMS (2006). En el caso del níquel en aguas superficiales sucede algo similar, pues en gran parte de los datos se reportan valores menores a 0,02 mg/l y la OMS (2006) establece un máximo de 0,07mg/l).

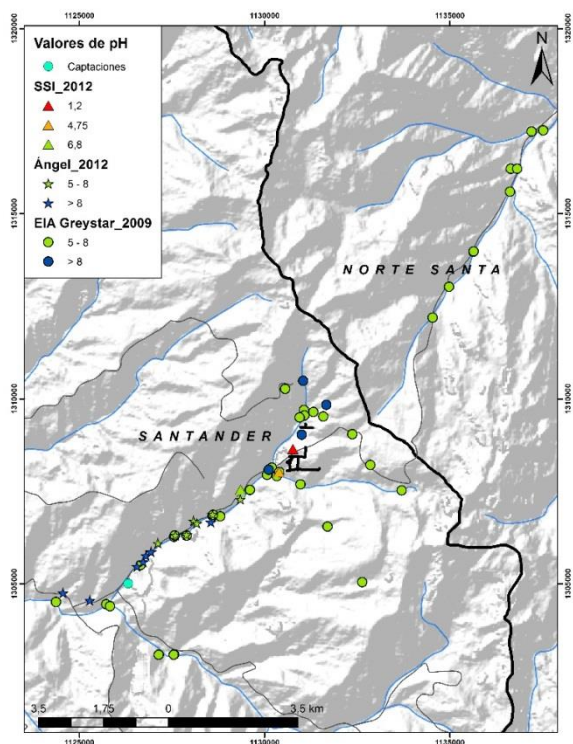


FIGURA 16. VALORES DE PH EN AGUAS SUPERFICIALES. ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN ÁNGEL, A. 2012, GREYSTAR, 2009 Y SSI, 2012

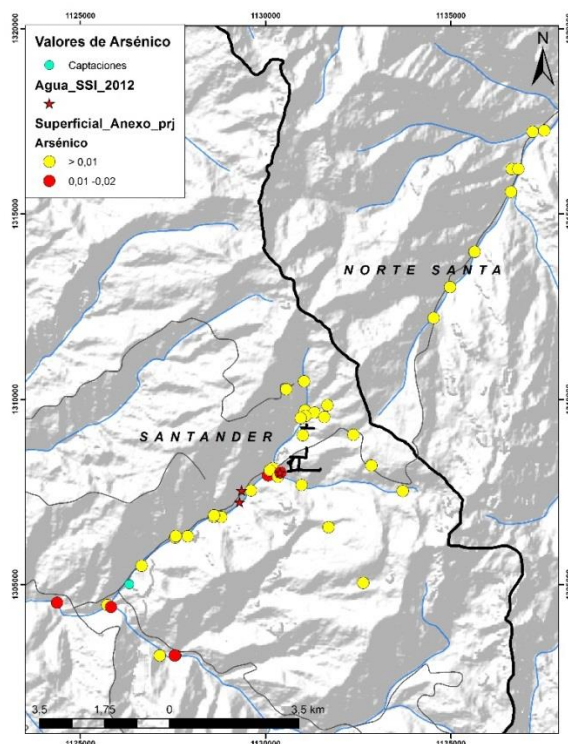


FIGURA 17. CONCENTRACIÓN DE AS EN AGUAS SUPERFICIALES. ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN ÁNGEL, A. 2012, GREYSTAR, 2009 Y SSI, 2012

Las y Figura 19 exponen otros casos de DAM y concentraciones de metales pesados en Colombia y en diferentes partes del mundo que sirven para ilustrar el impacto que puede llegar a tener un proyecto minero de la magnitud de La Colosa. La muestra los valores de pH extremo para aguas de diferentes proyectos mineros. En ella se aprecian valores anómalos fuera de la franja resaltada en verde que corresponde al rango usual para cuerpos de agua dulce superficial.

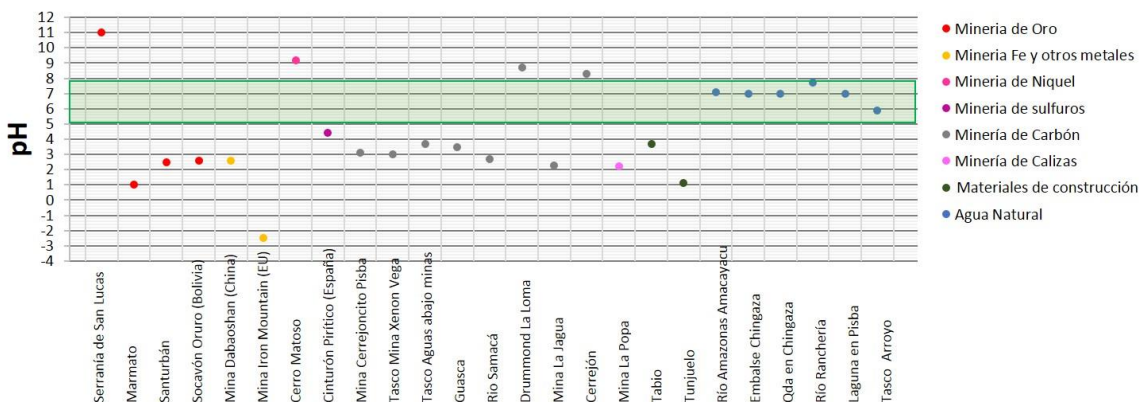


FIGURA 18. VALORES DE PH EXTREMO TOMADOS DE REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y DE TRABAJO DE CAMPO EN ZONAS MINERAS Y EN ZONAS QUE NO HAN SIDO INTERVENIDAS (AGUA NATURAL. PUNTOS AZULES). ELABORACIÓN PROPIA.

Como ejemplos de liberación de metales pesados al ambiente en proyectos mineros, en la Figura 19 se observan diversos casos alrededor del mundo, entre ellos, la mina de oro Obuasi ubicada en Ghana, localizada a 60 km al sur de Kumasi, capital de la región de Ashanti y operada por Ashanti Goldfields (filial de AGA). Las actividades desarrolladas han contaminado con arsénico y mercurio aguas superficiales y subterráneas que se usan para consumo humano y actividades agropecuarias (Adomako et al., 2010).

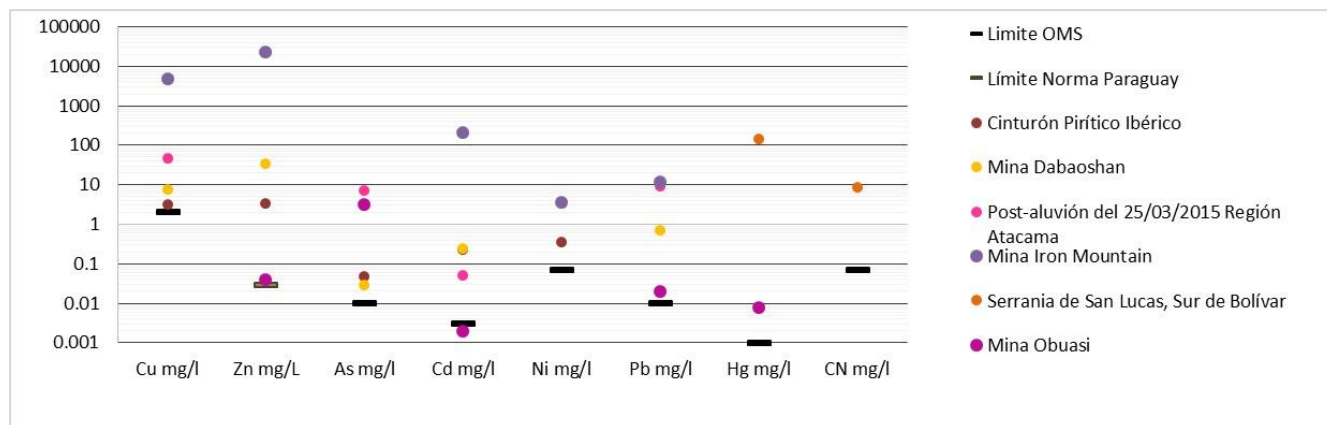


FIGURA 19. VALORES DE CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN ZONAS MINERAS EN DIFERENTES PARTES DEL MUNDO EN RELACIÓN CON NORMAS OMS (Y PARA EL ZINC, NORMA DE PARAGUAY). ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN HIERRO ET AL. (2014); RELAVES (2015); NORDSTROM (2011); ADOMADO ET AL. (2010 Y FIERRO ET AL. (2014) .

A continuación se presentan los valores de referencia y los principales efectos nocivos a la salud generados por los elementos que comúnmente se encuentran disueltos en estos drenajes:

TABLA 5. VALORES DE REFERENCIA DE METALES PESADOS Y METALOIDES TÍPICOS DE DAM. ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN OMS 2006 Y NORMA PARA PREVENIR LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL DE PARAGUAY (PARA EL ZINC)

ELEMENTO	VALOR DE REFERENCIA	AFECTACIONES A LA SALUD
Cobre	2 mg/l	Efectos gastrointestinales agudos
Cromo	0,05 mg/l (Cr total)	Capacidad cancerígena y genotoxicidad
Arsénico	0,01 mg/l	Cancerígeno
Cadmio	0,03 mg/l	Daño a los riñones
Plomo	0,01 mg/l	Afecta sistema nervioso central y periférico. Acumulable en huesos.
Níquel	0,07 mg/l	Cancerígeno
Zinc	0,03 mg l	Fitotóxico

En conclusión, el DAM es uno de los principales problemas ambientales asociados a la minería de metálicos puesto que favorece la solubilización y movilización de elementos tóxicos tales como el arsénico, mercurio, plomo, cadmio y demás metales pesados. Debe tenerse en cuenta que es un proceso inevitable al exponerse grandes volúmenes de roca a la atmósfera (ambiente oxidante). Para La Colosa, se darían las condiciones para la generación de DAM y la liberación de especies químicas tóxicas como el arsénico y metales pesados presentes en las rocas que conforman el yacimiento.

Adicionalmente, debe tenerse en cuenta que la acidificación del agua superficial (ríos, quebradas, lagos, entre otros) puede llegar a afectar gravemente ecosistemas asociados a éstas dado que existen poblaciones de plantas y animales sensibles a disminuciones del pH en el agua, generando así desequilibrios ecosistémicos, en particular dentro de las cadenas tróficas (EPA²⁸, 2015; National Geographic²⁹, 2015; Granados *et al.*, 2010).

3.4.2. Cianuro y otros tóxicos usados en el proceso minero

El uso de químicos en la minería es una de las fuentes de contaminación de aguas. Entre ellos se destaca el cianuro por su alta toxicidad y el alto volumen requerido para los procesos de beneficio.

En el caso de la gran minería de oro en Colombia, la información más detallada sobre los químicos utilizados para separar el oro se puede encontrar en el EIA del proyecto Angosturas en el páramo de Santurbán (Greystar, 2009). En este proyecto, por ejemplo, se planifica una demanda de 1033 toneladas mensuales de cianuro de sodio. Si bien el beneficio planteado para Angosturas no es idéntico al que se plantea para La Colosa, es pertinente mencionarlo como indicador de la magnitud y el tipo de tóxico utilizado.

La cantidad de reactivos químicos usados hace que la minería a gran escala sea riesgosa para la salud humana y de los ecosistemas. El cianuro ha sido motivo de controversia por su uso en algunos proyectos de minería a gran escala en el mundo debido a su toxicidad (Moran, 1998; USGS, 1999). En seres humanos, la dosis letal es de 1-2 mg/kg, cabe anotar que es altamente reactivo a muchos elementos químicos (Huiatt *et al.*, 1983 en Lötter. N, 2005).

Estudios de caso como el de Bakatula (2009) demuestran que hay altos contenidos de compuestos de cianuro en relaves localizados en la cuenca minera de Witwatersrand, Sudáfrica. Estos incluyen cianuro libre, cianuro total, cianuro disociable con ácido débil (conocido por sus siglas en inglés como WAD), cianuro de amonio, tiocianato (conocido como sulfocianuro).

Por lo anterior, existe una prohibición explícita de uso en las provincias de Chubut, Río Negro, Tucumán, Mendoza, La Pampa, Córdoba, Sal Luis y La Rioja en Argentina; en los estados de Montana y Wisconsin en Estados Unidos, y en la República Checa, Hungría y Turquía. En Costa Rica se ha declarado la moratoria de su uso y en Alemania se ha optado por disminuirlo progresivamente.

Las compañías mineras justifican el uso del cianuro argumentando que son suscriptoras del Código Internacional de Manejo de Cianuro. Sin embargo, como se expondrá a continuación, hay compañías adscritas al mismo que han generado problemas de contaminación (incluida la propia AGA) por derrames de cianuro y su liberación a aguas y suelos.

Un ejemplo es la ruptura de la cañería de aguas cianuradas ocurrida el 13 de septiembre de 2015 en la mina Veladero, ubicada en la provincia de San Juan, Argentina, propiedad de la empresa Barrick Gold. Recientemente, la UNOPS, presentó el “Dossier informativo del estudio sobre la calidad de los cuerpos de agua en el área de influencia de la Mina Veladero, posterior al incidente ambiental del 13/09/15”, en donde destacó valores anómalos de cianuros totales, aluminio, arsénico, cadmio, cobre,

²⁸ http://www3.epa.gov/acidrain/spanish/effects/surface_water.html

²⁹ <http://nationalgeographic.es/medio-ambiente/calentamiento-global/acid-rain-overview>

hierro, manganeso, plomo y zinc dentro de las zonas mineras, en aguas superficiales y subterráneas y en sedimentos. La autoridad judicial local estableció que la solución derramada tenía un contenido de cianuro en concentración de 137 ppm, con un volumen derramado de 1072 m³ y altos niveles de cianuro libre (entre 0,87 y 64 ppm).

Asimismo, la empresa Goldfieds, también suscriptora del Código, reportó un derrame de cianuro de su proyecto minero en la cuenca del río Asuman en octubre de 2001 en Ghana³⁰. Comunidades adyacentes se vieron afectadas por el vertido de miles de metros cúbicos de aguas residuales de minas contaminadas con cianuro y metales pesados cuando una presa de relaves falló. Los científicos temen que estos residuos permanezcan durante décadas, representando así una amenaza ambiental y sanitaria para las personas y la vida silvestre de la zona.

La siguiente tabla muestra otros casos de derrames de cianuro relacionados con empresas suscriptoras del Código (tres de ellos relacionados con AGA).

TABLA 6. ESTUDIOS DE CASO DE DERRAMES DE CIANURO. RELACIONADOS CON EMPRESAS SUSCRIPTORAS DEL CÓDIGO INTERNACIONAL DE MANEJO DE CIANURO. ELABORACIÓN PROPIA.

Empresa	Ubicación	Fecha	Descripción	Fuente
AngloGold Ashanti	Amapá-Brasil	1999	En 1999 lluvias fuertes desenterraron centenares de tambores de cianuro de sodio en Amapá, Brasil, en terrenos de una mina asociada al Grupo AngloGold/Anglo American. Hubo muertos y los peces desaparecieron del Río Vila Nova, pero nadie se hizo responsable.	http://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/1/35691/Articulocifuentesoctubre2006.pdf
Newmont Mining Company	Nevada-USA	Mayo 2002	24.000 galones de solución cianurada vertidos en la Mina Twin Creeks, de Newmont Mining Company. En otro accidente, 300.000 yardas cúbicas de desechos de la mina se derramaron en un arroyo de Arizona. En 2002, ocurrieron dos accidentes, uno de casi 6 toneladas de cianuro y otro de 230.000 metros cúbicos de solución cianurada en el arroyo Arizona, originando un desastre ambiental no remediado	http://www.iagua.es/blogs/plataforma-salvemos-cabana/agua-cianuro-y-mineria-del-oro-30-anos-de-accidentes
AngloGold Ashanti, Rand Gold Resources y Gobierno de Mali	Morila-Mali-África	Marzo 2003	El 16 de marzo de 2003 se produjo un derrame de relaves en Morila cuando una soldadura en el ducto de relaves se abrió, produciendo una fuga desde el predio minero hasta terrenos públicos. El volumen del derrame se estimó en 2082 m ³ , de los cuales más del 96% fue contenido en pozas y trincheras de captación ubicadas en el emplazamiento minero. Los 69 metros cúbicos restantes del derrame afectaron un área de 1,5 hectáreas ubicadas fuera del predio minero.	http://www.icmm.com/document/149
Gold Fields Limited	Wassa West District-Ghana	Mayo 2003	Un derrame de cianuro se produjo en la mina de oro de Tarkwa en el Distrito Wassa West, cuando material químico peligroso fue derramado de una de las tres tuberías construidas.	http://www.rainforestinfo.org.au/gold/spills.htm
AngloGold Ashanti	Obuasi-Ghana	2005	No reporta información específica. No obstante, el vocero de AngloGold Ashanti Alan Fine declaró a BBC News website que se presentaron dos derrames de cianuro piscinas contenedoras que fueron limpiados por la compañía.	http://news.bbc.co.uk/2/hi/africa/7103114.stm
Barrick Gold Corporation	Mina de oro North Mara (Tanzania)	2009	La rotura de una presa de relaves, produjo un gran vertido que alcanzó las aguas del río Thigithe. El desastre devastó los ecosistemas de la zona y costó la vida a veinte personas.	http://www.iagua.es/blogs/plataforma-salvemos-cabana/agua-cianuro-y-mineria-del-oro-30-anos-de-accidentes

³⁰ Para mayor información ver: <http://www.corpwatch.org/article.php?id=744>

Empresa	Ubicación	Fecha	Descripción	Fuente
Newmont Mining Corporation	Ahafo gold mine- República de Ghana- África	Octubre 2009	Un derrame de cianuro se produjo en la mina Ahafo que mató a un gran número de peces y amenazó el agua de las comunidades locales. Un Panel Ministerial de Ghana que evaluó el derrame y sus secuelas manifestó que la empresa sería multada por \$ 4.900.000 por no prevenir el derrame o por no informar adecuadamente sobre el derrame.	http://nodirtygold.earthworksaction.org/voices/wassa_ghana#.Vmyl8Ep96M8

No obstante lo anterior, no se observa ningún reporte técnico por parte de los responsables del Código en donde se evalúen los impactos ambientales y sociales de los incidentes de las empresas suscriptoras.

Del anterior apartado es posible concluir que:

- El cianuro es la sustancia más utilizada en el proceso de beneficio en minas de oro a gran escala.
- Dada su alta toxicidad algunas empresas han suscrito un código de manejo del mismo, sin embargo ello no es garantía de la no ocurrencia de incidentes como derrames que generen impactos negativos sobre el ambiente (aguas superficiales y subterráneas) y la salud humana.

3.4.3. Disponibilidad y calidad del agua subterránea

Una vez analizados los eventuales impactos que el proyecto puede tener sobre las aguas superficiales, a continuación se analizan las potenciales amenazas sobre aguas subterráneas.

La remoción de materiales geológicos genera diversos impactos negativos en la disponibilidad del agua subterránea, tanto para poblaciones humanas como ecosistémicas. Esto se debe a que las rocas y suelos que son removidos y manipulados son los materiales en donde el agua subterránea se almacena.

El flujo de agua (y por tanto la recarga de acuíferos) depende de la estructura de suelos y rocas. En un escenario de remoción de estos últimos, la red de fracturas desaparecería y la modificación del flujo sería irreversible e impredecible. Esto eventualmente podría disminuir la cantidad de agua disponible para el consumo humano y el sostenimiento de los ecosistemas río abajo, de cuyo bienestar dependen las actividades agrícolas. Rocas y suelos desempeñan un papel fundamental en el ciclo hidrológico y controlan el flujo de agua subterránea tanto en dirección como en magnitud, de lo cual a su vez depende el agua superficial³¹ en términos tanto de calidad como de cantidad.

Cabe resaltar que la remoción de unidades implica también una más alta probabilidad de transporte de sustancias (incluidos contaminantes) hacia profundidades mayores y la consecuente disminución de la calidad del agua subterránea. Para el caso particular de La Colosa, esta es una actividad que ya puede haber causado impactos, tales como conectar niveles acuíferos de diferentes profundidades y despresurizar acuíferos confinados, generando pozos “saltantes”, situación reconocida en los Informes de Cumplimiento Ambiental reconocidos por la empresa.

En general, las minas de oro a gran escala explotan rocas ígneas que son cristalinas, y que en el caso de los pórfidos se generaron a partir del enfriamiento de magmas (soluciones minerales fluidas). Este proceso da lugar a un entramado de cristales sin ningún espacio vacío entre ellos que permita la acumulación y el flujo de agua. Desde una perspectiva hidrogeológica, estas rocas se denominan acuífugos y son completamente impermeables. Si esta es la roca en la cual se van a disponer lodos altamente tóxicos, no habría ninguna necesidad de impermeabilizar para cubrir materiales ya impermeables naturalmente.

³¹ Ver apartado Relación entre agua subterránea y agua superficial

Los autores de este informe no tienen conocimiento de algún pronunciamiento oficial de AGA al respecto de la impermeabilización. No obstante, estas rocas se encuentran fracturadas (AGA – UnalMed, 2012), lo cual permite la infiltración y el movimiento de aguas subterráneas a través de ellas, con lo cual se convierten en acuíferos y acuitardos, es decir, son rocas permeables. Existen referencias de algunos valores de permeabilidad para las rocas similares a las aflorantes en La Colosa (AGA – UnalMed, 2012):

"La permeabilidad debida al fracturamiento de rocas no alteradas en general oscila entre 0.001 y 10 m/día. Un mismo tipo de roca puede proporcionar caudales diferentes, aún en la misma unidad geológica. Se obtienen por lo general mayores caudales en climas húmedos que en climas secos por razones obvias de recarga. En general en casi todos los pozos excavados en rocas plutónicas y metamórficas, los caudales de explotación son bajos, comprendidos entre 0.5 - 1.5 l/s. (Frezze y Cherry, 1979). El tiempo de residencia y la velocidad del flujo del agua dependen del tamaño de la fractura, la geometría de la red de fracturamiento y las propiedades hidráulicas de la unidad. (Cook et al, 2005)."

En Bolivia, se tienen evidencias y mediciones de la contaminación que ha causado la presa de relaves del proyecto de minería de oro Kori Kollo, llevado a cabo por la empresa Inty Raymi (Newmont Mining). El Ministerio de Medio Ambiente y Agua de ese país, a través de PCA Ingenieros Consultores S.A. (2012), en el marco de una auditoría ambiental, identificó cambios en la recarga de acuíferos, contaminación de suelos y de aguas subterráneas y subsuperficiales con cianuro y metales pesados como cadmio, plomo y zinc. También indentificó daños que se habrían ocasionado sobre la vida silvestre, Por ejemplo, evidenció la presencia de metales y metaloides como plomo, arsénico, cadmio y cromo en plantas y roedores, tanto en la zona minera como fuera de ella, en donde se reportan "concentraciones de arsénico por encima del nivel de referencia de la normativa canadiense (12 ppm)." así como niveles elevados en "la distribución de concentraciones de Cd y Zn" (subrayados fuera de texto). De igual manera, los datos de la auditoría en cuanto a concentraciones de zinc fueron significativamente superiores a las concentraciones reportadas por la empresa en su línea base ambiental.

Estos datos reales de contaminación de suelos, aguas superficiales y subterráneas y de allí su tránsito a seres vivos, contradicen las opiniones de los representantes de empresas y gremios mineros acerca de una supuesta inocuidad del cianuro una vez liberado al ambiente. Igualmente, estos datos soportan las preocupaciones sobre su uso, acumulación en grandes volúmenes y disposición de gigantescas cantidades de residuos contaminados, con contenido no sólo de cianuro sino de metales pesados que se solubilizan en las condiciones alcalinas que crean las empresas mineras para poder usar esta sustancia.

3.4.4. Desabastecimiento y alteración del ciclo del agua

AGA ha realizado labores de exploración en las microcuencas de las quebradas La Arenosa y La Colosa, que corresponden a la subcuenca de la quebrada La Guala, sin tener en cuenta las advertencias del agotamiento del agua emitidas por Cortolima³².

Para la etapa de exploración, de acuerdo con AGA (2015) se ha estimado una captación de 4 L/s (345,6 m³/día) que corresponde a un porcentaje mínimo del caudal disponible de la quebrada La Guala. Sin embargo, para la etapa de explotación se plantea una captación de 500 L/s (43.200 m³/día) con una recirculación del 60%³³, lo que significa que el caudal neto de aprovechamiento sería del 40% que corresponde a 200 L/s (17.280 m³/día) y esto representaría a su vez una captación del 29% de la quebrada La Guala (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

³² Ver Resolución 1765 del 20 de abril de 2011 de Cortolima.

³³ AGA (2015). La Colosa, una oportunidad de oro para el Tolima. (Consultado en <http://www.anglogoldashanti.com.co/saladeprensa/Presentaciones/PRESENTACION%20LA%20COLOSA%20FINAL.pdf>)

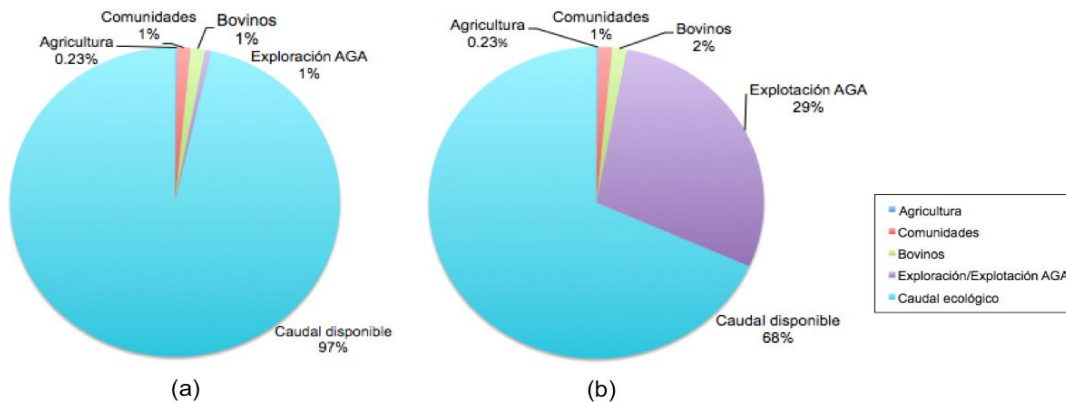


FIGURA 20. DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES MEDIOS POR ACTIVIDADES EN LA QUEBRADA LA GUALA CONSIDERANDO: (A) EXPLORACIÓN AGA (B) EXPLLOTACIÓN AGA
ELABORACIÓN PROPIA CON BASE EN: CORTOLIMA. (2009). POMCA-RÍO COELLO

Otro insumo para evaluar el posible impacto de la captación de agua para el desarrollo del proyecto La Colosa son las series de registros de caudales de la estación Pte. La Bolívar para el periodo 1993-2015. Esto se realiza con el propósito de conocer el comportamiento de los caudales a lo largo del tiempo en la cuenca del río Bermellón. Como se puede apreciar en la Figura 21, para el último trimestre de los años 1993, 1994, 1996 y 2014 el caudal medio registrado está cerca al caudal de explotación propuesto por AGA. Esto es determinante ya que en las microcuencas aguas arriba el caudal es menor al caudal de explotación.

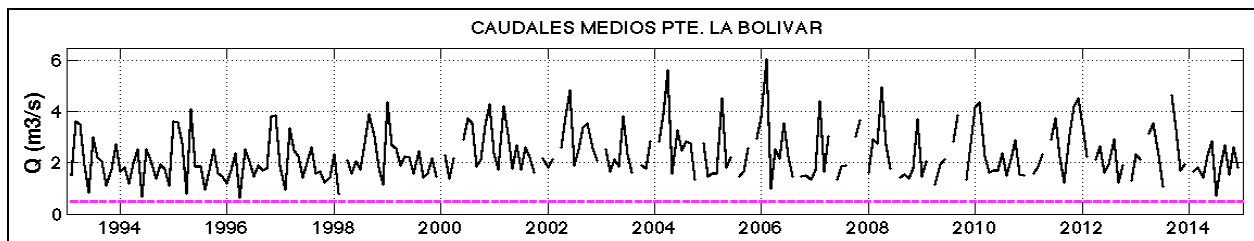


FIGURA 21. SERIE DE CAUDALES MEDIOS PARA LA ESTACIÓN PTE. LA BOLIVAR (2121728). LA FRANJA MAGENTA CORRESPONDE AL CAUDAL DE UNA EVENTUAL ETAPA DE EXPLLOTACIÓN DE AGA. ELABORACIÓN PROPIA.

En caso de una eventual explotación, y de que el proyecto minero se abastezca de la quebrada La Arenosa, captaría el 100% del caudal disponible para los meses de enero, febrero, marzo y abril. En lo que respecta a la quebrada La Colosa, si el proyecto minero se abasteciera de esta corriente captaría el cerca del 50% del caudal disponible (ver Figura 22).

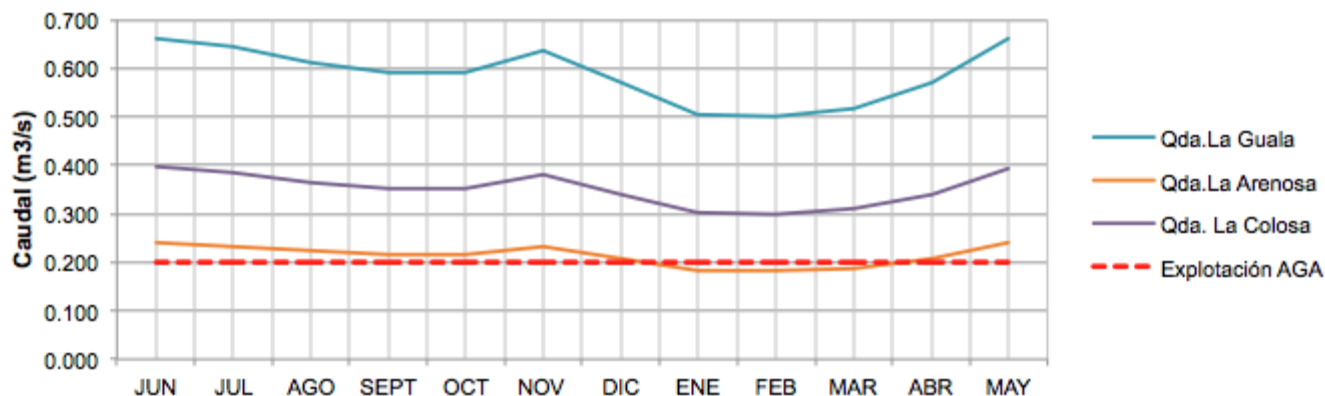


FIGURA 22. CICLO ANUAL DE CAUDALES EN LAS QUEBRADAS LA GUALA, ARENOSA Y LA COLOSA. ELABORACIÓN PROPIA.

En conclusión, para la etapa de explotación, el proyecto minero propone una captación de caudal de 0,2 m³/s (AGA, 2015). Si eventualmente éste se llegara a captar de la quebrada La Arenosa, representaría el 100% del caudal disponible para los meses de enero, febrero, marzo y abril sin considerar el caudal ecológico establecido por IDEAM³⁴. Otro probable escenario sería la captación de ese caudal en la quebrada La Colosa que representaría aproximadamente el 50% del caudal medio de esta corriente. Esta captación generaría impactos negativos como deterioro de ecosistemas y desabastecimiento de agua para comunidades.

3.4.5. Antecedentes de afectación a agua

3.4.5.1. La mina de oro Geita de AGA en Tanzania

AGA posee la totalidad de la mina de oro Geita, ubicada en Tanzania. En este caso, se vieron afectadas directamente las comunidades de Katoma, Nyamalembo Nyakabale, asentadas cerca del proyecto minero. Al interior de las fincas de Nyamalembo se presentaron constantes inundaciones que antes no ocurrían. Este cambio se atribuyó al cambio de forma y cauce de los ríos que produjo la actividad minera.

La principal consecuencia de la minería en esta zona fue la migración de la desembocadura del río Sloencker, tres kilómetros aguas abajo del sitio original, generando impactos negativos directos sobre la comunidad ya que éste constituía su única fuente de abastecimiento. Su desvío generó, consecuentemente, mayores costos en tiempo y dinero para la obtención del agua.

Adicionalmente, las zonas en las que se ubicaron los tajos y botaderos no cumplen una función estratégica como amortiguación de crecientes o almacenamiento de agua. Para su reconfiguración y reconfiguración se requieren múltiples procesos geológicos que tienen ocurrencia a lo largo de millones de años.

3.4.5.2. La mina de oro de Crixas de AGA en Goias (Brasil)

La mina de Crixas fue un proyecto de extracción de oro a gran escala a cielo abierto y subterránea operado por AGA en Brasil. Fernandes, Lima y Teixeira (2011) en su trabajo para el Ministerio de Minas y Energía del Brasil, exponen que no se llevó a cabo un monitoreo ambiental de metales pesados ni de sustancias tóxicas como el arsénico y el cianuro, “*los cuales se relacionan directamente con la extracción y metalurgia de oro*”. Se reportaron altos contenidos de arsenopirita en

³⁴ Caudal ecológico estipulado en el decreto 865 de 2004 del Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial, siguiendo en metodologías expuestas por el IDEAM.

el yacimiento, no obstante no existen estudios sobre el movimiento del arsénico y las consecuencias de la minería en el área de influencia, en el agua (acuíferos y captaciones para consumo humano) ni en los alimentos consumidos. El cianuro tampoco fue monitoreado independientemente.

Según muchos de los entrevistados por los investigadores, en el municipio de Goias existe un índice elevado de retardo mental, hidrocefalia, síndrome de Down y problemas neurológicos, además de problemas pulmonares, los cuales han sido relacionados a las actividades mineras y en particular a la presencia de cianuro depositado en las presas de relaves y al arsénico, el cual se liberó por el laboreo de rocas con arsenopirita que constituyen los desechos mineros y aún permanece en las aguas, incluso en las subterráneas.

3.5. Contaminación del aire

3.5.1. Material particulado

Uno de los tantos impactos negativos sobre el ambiente producto de la actividad minera a cielo abierto es la contaminación del aire, debido principalmente a la emisión de material particulado. Entre las características principales de este material se encuentran: composición química, concentración, tamaño, forma y estructura interna. Además, éstas partículas revisten gran importancia por influenciar el clima y causar problemas en salud de la población (Kokhanovsky 2008).

Pese a que en el país no se localiza a la fecha un proyecto de minería de oro a cielo abierto en etapa de explotación³⁵ a partir del cual se puedan analizar los impactos al aire, en cualquier proceso minero las actividades para la obtención del mineral o del metal implican la remoción y transporte de material extraído de la corteza terrestre. Su volumen, composición, condiciones meteorológicas y el mismo control ejercido por parte de la empresa minera, determinarán el grado de contaminación y su permanencia en la atmósfera, al igual que su consecuente impacto en la salud en caso de que dichas condiciones no sean favorables.

Con miras a tener un panorama más claro del impacto de la minería a cielo abierto en la calidad del aire y su incidencia en la salud de la población, es preciso señalar que en Colombia se localizan en la actualidad dos grandes áreas de minería de carbón a cielo abierto (Guajira y Cesar), y una de metálicos (Córdoba). Estas áreas son importantes fuentes de emisión de partículas y, de acuerdo con la evidencia presentada en diversos estudios, afectan la calidad del aire de las poblaciones aledañas.

Existen niveles sugeridos por la OMS en las Guías de Calidad del Aire (GCA), las cuales determinan los niveles recomendables de contaminantes atmosféricos relativos a material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}), y otros contaminantes atmosféricos como el ozono, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre, los cuales son más estrictos que los de la normativa colombiana. Por ejemplo, el nivel recomendado de PM₁₀ por la OMS es de 20 µg/m³ para un periodo de exposición anual, mientras que en la normativa colombiana es de 50 µg/m³. Por su parte, para un periodo de exposición diaria (24 horas), la OMS establece una concentración de 50 µg/m³ y la normativa colombiana 100 µg/m³.

La zona minera del Cesar ha sido declarada por el MADS como área fuente de contaminación para material particulado suspendido total (PST), que ha llegado a superar los niveles definidos en el estado excepcional de alerta de 625 µg/m³, con registros que superan los 720 µg/m³ observados en el año 2010, especialmente en el sector de El Hatillo (Llorente, 2015a). Dichos estados de contaminación, según lo señalado en el artículo 1 de la Resolución 610 de 2010, pueden causar alteraciones en el medio ambiente o la salud humana y en especial de algunas funciones fisiológicas vitales, enfermedades crónicas en organismos vivos y reducción de la expectativa de vida de la

³⁵ El primer proyecto de minería de oro a cielo abierto ejecutado en el país es el denominado Gramalote, aprobado mediante Resolución 1514 del 25 de noviembre de 2015. Por tanto, no sirve de referente aún pues la etapa de explotación pues esa fase no ha dado inicio.

población expuesta. En la Guajira se enfrenta la misma problemática, con niveles que cumplen la normativa colombiana pero exceden hasta dos veces los promedios para un período de exposición anual recomendados por la OMS (Llorente, 2015b).

Se consultaron y analizaron para el presente documento, reportes disponibles en la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) relacionados con el proyecto minero Cerro Matoso S.A., cuya actividad es la explotación de níquel y la producción de ferroníquel. Del análisis de la información disponible en la ANLA se encontró que entre el año 2010 y el segundo semestre de 2015, se registraron ocho excedencias a la norma diaria para PM_{10} (Resolución 610 de 2010) y un total de 133 concentraciones que superaron el valor recomendado por la OMS para un periodo de exposición diario (24 horas) de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Respecto a los promedios anuales de PM_{10} analizados en un registro de doce años no se superaron las concentraciones exigidas por la normativa colombiana, pero todas las estaciones analizadas superan los valores establecidos por la OMS ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), con registros de hasta $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la estación Tornoroto en el año 2014. Según el inventario de emisiones reportado en el EIA de 2010, el aporte anual de material particulado por fuentes fijas es de 542,1 Ton/año, mientras que la actividad de transporte del mineral es de 833.911 Ton/año. Lo anterior indica que la emisión de material particulado a la atmósfera por la extracción minera a cielo abierto es significativamente más alta que las actividades industriales conexas.

3.5.2. Cianuro de hidrógeno (HCN)

El uso de cianuro para la recuperación de oro no sólo tiene implicaciones en el agua, sino que también existe una relación con la calidad atmosférica. El cianuro de hidrógeno (HCN) es un líquido altamente volátil, considerado como un ácido muy débil, soluble en agua y alcohol (WHO, 2004). La volatilización³⁶ es conocida como uno de los más importantes mecanismos de atenuación del cianuro producidos dentro de las instalaciones de almacenamiento de relaves (Smith and Mudder, 1991; Lye et al, 2001 citados en Lötter. N, 2005). Durante la etapa de lixiviación con cianuro éste es empleado comúnmente en forma de cianuro de sodio (NaCN) o cianuro de potasio (KCH). Tanto el (NaCN) y el (KCH) son precursores del HCN en contacto con ácidos o sales ácidas (WHO, 2004).

Asimismo, los drenajes ácidos de mina (DAM) actúan sobre otras de las formas de cianuro encontradas en los relaves, (cianuro libre CN^-) para formar HCN (cianuro de hidrógeno). Los valores bajos de pH tienden a desestabilizar complejos de metal-cianuro, liberando así más CN^- y, por consiguiente HCN (Bakatula. E, 2009). Para contrarrestar esta situación, Lötter (2005) describe que el primer paso en el control efectivo de cianuro debe ser la minimización de su consumo durante las operaciones de lixiviación. Esto puede lograrse manteniendo el pH en 10,5 para evitar la pérdida significativa de HCN por volatilización de la pulpa y la consiguiente liberación de cianuro de hidrógeno. No obstante, para lograr ese valor de pH es necesario el uso intensivo de materiales químicos tóxicos como el hidróxido de sodio (soda cáustica).

Lo anterior, describe los riesgos adicionales que conlleva el uso del cianuro en proyectos de minería a gran escala. De acuerdo con la descripción, para evitar estos riesgos se requiere un control exhaustivo de los relaves, principalmente en la regulación del pH para así evitar la liberación de cianuro de hidrógeno. Como se dijo en la sección 3.5.2, este elemento es altamente tóxico para la salud de la población, y se suma a las problemáticas asociadas al deterioro de la calidad del aire por partículas y gases. Se estima que la extracción de oro a partir de minerales de bajo grado por procesos de cianuración ha dado lugar a la emisión mundial de 20.000 toneladas de cianuro de hidrógeno en la atmósfera (Korte y Coulston, 1998 citado en WHO, 2004).

³⁶ Que cambia de fase líquida espontáneamente en fase gaseosa.

3.5.3. Consideraciones respecto a la amenaza de contaminación del aire por explotación en La Colosa

Más atrás se describió el impacto negativo sobre la calidad del aire que se produce al remover grandes volúmenes de material. Sin embargo, también son contaminantes los óxidos de nitrógeno (NOx), de azufre (SOx), monóxido de carbono (CO), entre otros, que son emitidos por la maquinaria empleada para la operación y en general las fuentes móviles en actividad permanente.

En lo referente a los marcos de política y normativa, si bien existe el documento Conpes 3550 de 2008, en donde se establecieron los lineamientos para la formulación de la Política Integral de Salud Ambiental (PISA) con énfasis en los componentes de calidad de aire, calidad de agua y seguridad química, ésta aún no ha sido promulgada. Esta desarticulación entre políticas ambientales y de salud genera desconocimiento de la relación de causalidad entre las alteraciones al medio ambiente generadas por la minería a cielo abierto, y la calidad de vida y salud de la población.

Las altas cortes han establecido la obligatoriedad de acogerse a las recomendaciones de organizaciones internacionales como la OMS. La Corte Constitucional colombiana mediante la sentencia T-154 de 2013, obligó el ajuste de las normas colombianas, situación que no ha sido acatada por el Gobierno Nacional. Son numerosas las denuncias de las comunidades afectadas por el deterioro de la calidad de vida y el impacto sobre la salud que la cercanía a este tipo de proyectos genera. Recientemente, un fallo de tutela a favor de un niño wayúu que padece graves problemas respiratorios producto de la actividad minera desarrollada por El Cerrejón, ordenó a las autoridades ambientales aplicar el principio de precaución y garantizar que la empresa redujera las emisiones en un periodo máximo de dos meses.

La Procuraduría General de la Nación presentó en diciembre de 2010 una acción popular en contra de Carbones del Cerrejón en la cual argumentó y describió las afectaciones en la salud de algunos de los trabajadores de la mina, producto de la exposición permanente a material particulado. En la demanda se mencionan enfermedades posiblemente causadas por dicha exposición: silicosis, bronquitis industrial y cáncer pulmonar. El informe que soportó la demanda, confirmó presencia de plomo en sangre, fibrosis pulmonar, silicoantracosis de origen profesional, entre otras.

Finalmente, se reitera que si bien en los proyectos de minería a cielo abierto descritos con anterioridad no es el oro el elemento objeto de explotación, la contaminación atmosférica y sus implicaciones en la salud de la población, se presentan por la remoción y transporte de grandes cantidades de material extraídos de la corteza terrestre. Por tanto, es válida la inclusión y el análisis de los impactos que estos tres proyectos han generado en el país.

3.6. Afectación de suelos agroecológicamente productivos

3.6.1. Los Andisoles

Los andisoles, suelos de origen volcánico, son fundamentales en la autonomía alimentaria de poblaciones campesinas y en el suministro de alimentos para buena parte del país. Esta situación es similar a la de otros lugares en el mundo: *“Los suelos volcánicos se encuentran entre los más productivos para la agricultura y la silvicultura. El alto potencial para la producción agrícola es ilustrada por el hecho de que muchas de las regiones agrícolas más productivas del mundo se encuentran cerca de los volcanes activos o durmientes y la densidad de la mayoría las zonas pobladas en las regiones, como Indonesia, se encuentran cerca de los volcanes”* (Shoji et al., 1993 citado por Ugolini y Dahlgren 2003).

Para el proyecto de La Colosa, basados en las aproximaciones ya descritas, se presentaría una afectación directa de cerca de 730 Ha de remoción de andisoles o sepultamiento bajo relaves, escombreras, presas de agua y estructuras mineras diversas como zonas de beneficio, campamentos, helipuertos, etc. Un cálculo preliminar de áreas afectadas se muestra en la Tabla 7:

TABLA 7. CÁLCULO DE ÁREAS QUE AFECTARÍA LA COLOSA POR REMOCIÓN O POR SEPULTAMIENTO DE ANDISOLES.
ELABORACIÓN PROPIA

Ítem	Área (Ha)
Infraestructura	33,8
Botadero	101,2
Tajo	250,4
Relaves	320,6
Embalse DAM	20,9
Total	726,9

Adicional a lo anterior, dado que la minería abate los niveles freáticos, se generan desecaciones de los suelos zonas adyacentes a los tajos mineros, las cuales pueden generar los efectos que se describen a continuación.

Las alofanas³⁷ en los andisoles pueden disminuir ya que requieren de condiciones de humedad continuas y materia orgánica abundante. Son fundamentales en la fertilidad ya que retienen una gran cantidad de agua (80% a 180% de su peso seco) (Porta, 2003). Además, el secado de andisoles puede llegar a ser irreversible en condiciones de muy baja humedad, situación que se agrava con los diferentes grados de susceptibilidad a este fenómeno (Warkentin, 1992, en Jaramillo, 2000).

La disminución del volumen en andisoles como consecuencia del secado lleva a la aparición de grietas y fisuras por las cuales se producen pérdidas de agua, fenómenos de retracción irreversibles, lixiviado de químicos y la consecuente contaminación de acuíferos (Armas et al, 2003).

En conclusión, la remoción y sepultamiento de andisoles implica la pérdida irreversible de un elemento natural fundamental en la posibilidad de recuperación de las áreas afectadas por actividades humanas, las cuales se relacionan con provisión de nutrientes y flujos de aguas subsuperficiales y subterráneas.

3.6.2. Contaminación de suelo y alimentos en Ghana

AGA tiene el 100% de participación en dos de las minas de oro más grandes de África que son Iduapriem y de Obuasi en Ghana. Ese país es predominantemente agrícola y específicamente arrocerero, al ser este cereal el alimento básico para la dieta de los ghaneses con un consumo per cápita de 55 g/día/persona (Adomako et al., 2010).

El arroz tiene la particularidad de que posee una gran capacidad de acumulación de metales pesados y metaloides frente a los otros granos. Adomako et al. (2010) determinaron las variaciones en las concentraciones de arsénico y otros elementos potencialmente tóxicos en los granos de arroz cultivados en zonas cercanas a las minas. Se tomaron muestras en suelos productores de arroz, cultivos de arroz y agua para irrigación en zonas susceptibles a la contaminación debido a su cercanía a la actividad minera así como en zonas por fuera de su impacto directo o indirecto.

Los suelos de la zona minera mostraron una concentración de arsénico de 3,3 mg/Kg, en contraste con los 0,6 mg/Kg fuera de ella, lo cual indica que la actividad minera aumenta la concentración media de arsénico en una relación de 5 a 6 veces.

De los suelos contaminados, el arsénico se moviliza a las plantas de arroz y de allí a los granos. En las plántulas, las sembradas en el área de influencia de la minería el valor promedio de este químico tóxico fue de 0,89 mg/Kg y para zonas alejadas de actividad minera en 0,20 mg/Kg (concentración 4 a 5 veces superior en zona minera). En los granos, las concentraciones medias de arsénico en zonas de influencia minera corresponden a 0,17 mg/Kg y en zonas sin actividad minera a 0,06 mg/Kg (el aumento es de tres veces).

³⁷ Componentes minerales producto de alteración de cenizas volcánicas

Tomando como referencia este caso, la minería a gran escala puede generar impactos negativos sobre otros sectores productivos como la agricultura. En el caso de Ghana, el suelo y el arroz de las áreas de influencia minera están contaminados con el arsénico liberado por la extracción de rocas con contenido de dicho elemento químico. Una de las consecuencias a largo plazo puede ser el desencadenamiento de problemas de bioacumulación, impacto en los ecosistemas y la salud humana, situaciones que deben ser evaluadas cuando aguas abajo del proyecto La Colosa, dado que el arroz es un elemento fundamental como actividad productiva y como fuente de alimentación de la población tolimense.

4. CONCLUSIONES

- El proyecto minero La Colosa en caso de llevarse a cabo, sería el proyecto aurífero más grande de Colombia y uno de los mayores operados por AGA en el mundo.
- Las estimaciones para el yacimiento de La Colosa se calculan en 0,82 gramos de oro por tonelada de roca, lo cual indica una gran cantidad de desechos a producir por cada gramo de metal extraído.
- La cantidad total de oro reportado por la empresa en el yacimiento es de 33,15 millones de onzas (1030,96 millones de gramos), como consecuencia, la eventual extracción del total de oro requeriría la voladura de 1257,27 millones de toneladas de roca.
- Con base en información de investigadores de AGA, el yacimiento contiene de 1 a 7% de pirita y en menor medida arsenopirita. Estas especies minerales son responsables de la generación de drenaje ácido de mina (DAM), la segunda adicionalmente puede eventualmente liberar arsénico.
- El drenaje ácido de mina favorece la solubilización y movilización de elementos tóxicos tales como arsénico, mercurio, cadmio, plomo, bario entre otros.
- Se tienen evidencias de contaminación orgánica (coliformes totales y fecales) y química (bario y arsénico) de aguas superficiales y subterráneas en predios de la empresa.
- La exploración minera se inició sin cumplir con las normas colombianas que obligan a la sustracción de reservas forestales.
- Según la información de AGA, se conformará un tajo único a cielo abierto. Como producto del beneficio se generarán residuos (relaves con contenido de cianuro), los cuales serán represados en dos valles con materiales rocosos de desecho. Estos residuos también serán fuentes potenciales de drenaje ácido de mina.
- La Colosa está conformada por rocas ígneas y metamórficas fracturadas, cubiertas por depósitos volcánicos de alta permeabilidad que pueden configurar zonas de recarga de acuíferos. Para todos los tipos de roca se han reportado contenidos de arsénico y en zonas cercanas, contenidos naturales de mercurio.
- Las principales fallas geológicas son la de Ibagué, ubicada 15 km al sur del yacimiento y la de Palestina, la cual atraviesa la zona de interés minero. Estas fallas conllevan la existencia de franjas muy concentradas de fracturas, las cuales se constituyen en zonas de recarga.
- Los suelos del área corresponden a andisoles, elementos geológicos fundamentales en el ciclo de las aguas en zonas volcánicas y a la provisión de nutrientes para la totalidad de procesos agroecológicos.
- La hidrogeología de la zona no tiene estudios que permitan identificar con precisión la recarga, descarga o tránsito de aguas subterráneas a través de acuíferos y acuitardos. No obstante, se sabe que superficialmente los suelos y depósitos volcánicos se constituyen en acuíferos y que las rocas, a través de sus fracturas, permiten el flujo de aguas subterráneas.
- Para la etapa de explotación, el proyecto minero propone la captación de un caudal de 0,2 m³/s; que si eventualmente se llegara a captar de la quebrada La Arenosa, representaría el

100% del caudal disponible para los meses de enero, febrero, marzo y abril sin considerar el caudal ecológico establecido por IDEAM.

- Otro probable escenario sería la captación del caudal (0,2 m³/s) en la quebrada La Colosa que representaría aproximadamente el 50% del caudal medio de esta corriente. Esta captación generaría impactos negativos como deterioro de ecosistemas y desabastecimiento de agua para comunidades.
- Para la explotación de La Colosa se requiere la remoción de grandes volúmenes de vegetación, suelos y acuíferos, lo cual puede eventualmente afectar el balance hídrico y agravando el déficit de agua para las épocas secas.
- Según las mediciones realizadas en el área durante los últimos veinticinco (25) años, se ha evidenciado que existen unos caudales mínimos que pueden ser índice de una fuente de recarga del río que no dependa de la precipitación o de la escorrentía, lo cual indica la estrecha dependencia del agua superficial y la subterránea.
- No existen datos detallados sobre generación de desechos rocosos potencialmente generadores de drenaje ácido de mina ni de volumen y caracterización geoquímica de relaves. No obstante, las estimaciones llevadas a cabo en este trabajo (600 millones de toneladas) y datos muy genéricos de la empresa (1.420 millones de toneladas) muestran que la producción de relaves tendrá una magnitud considerable.
- La generación de drenaje ácido de mina (DAM) puede liberar decenas de millones de toneladas de ácido sulfúrico, de acuerdo con el potencial de remoción de rocas con contenidos de pirita del 1 al 7%.
- La suscripción de AGA al Código Internacional de Manejo del Cianuro no da ninguna garantía en cuanto a la disminución de contaminación o a una adecuada compensación a las comunidades afectadas. Los antecedentes de accidentes que implicaron derrames de cianuro en proyectos de empresas suscriptoras del Código son numerosos, e incluyen a la propia AGA, sin que ello haya generado ninguna acción en un marco por demás no vinculante.
- Una eventual rotura de la presa de relaves sería especialmente perjudicial dadas las condiciones de altura de la acumulación (más de 2.900 metros sobre el nivel del mar), la fuerte pendiente, la sismicidad activa ya demostrada en estudios científicos, la alta densidad poblacional, la ubicación en un área protegida y lo estratégico de la zona en términos de producción agrícola.
- En la totalidad de proyectos de minería a cielo abierto de gran escala en Colombia que fueron analizados en este trabajo, se incumplen los niveles sugeridos por la Organización Mundial de la Salud, que debían haber sido adoptados por el gobierno colombiano desde 2013 en cumplimiento a la Sentencia T-154 de 2013.
- La remoción o sepultamiento de andisoles puede afectar directamente más de 700 Ha, sin contar con la afectación indirecta por compactación o desecaciones por abatimiento de los niveles de aguas superficiales y subterráneas.
- La autogestión ambiental implícita en el modelo colombiano y en toda Latinoamérica de empresas que contratan sus propios estudios ambientales, tanto para el levantamiento de líneas base como para la gestión y monitoreo ambiental no es adecuado. En los casos de Veladero (Argentina), Inti Raymi (Bolivia), así como en todos los proyectos de minería a gran escala en Colombia, se advierten omisiones o desconocimiento de las empresas mineras y de los funcionarios de las entidades reguladoras que generan contaminación.
- La debilidad regulatoria se expresa en los requerimientos incompletos y omisivos de parte de la autoridad ambiental del nivel nacional durante la etapa de exploración y en la falta de política y norma adecuadas para evitar la contaminación de agua y de aire a causa de actividades mineras. En cuanto a mitigar el daño en suelos, no existen normas al respecto.

5. REFERENCIAS CITADAS

- Adomako, E., Deacon, C., & Meharg, A. (2010). Variations in concentrations of arsenic and other potentially toxic elements in mine and paddy soils and irrigation waters from Southern Ghana. *Water Quality Expo Health*, 10 (29), 115-124.
- AGA (2012). Mineral Resource and Ore Report. (Consultado en <http://www.anglogoldashanti.com/en/Media/Reports/Annual%20Reports/AGA-IR14.pdf>)
- AGA (2014a). A truly global producer of gold: Integrated report 2014. (Consultado en <http://www.anglogoldashanti.com/en/Media/Reports/Annual%20Reports/AGA-IR14.pdf>)
- AGA (2014b). Nuestro negocio (Consultado en <http://www.anglogoldashanti.com.co/nuestronegocio/Paginas/perfilcorporativo.aspx>)
- AGA (2014c). La Colosa, una oportunidad de oro para el Tolima. (Consultado en http://www.anglogoldashanti.com.co/saladeprensa/Presentaciones/presentacion_lacolosa_2015.pdf)
- AGA (2015). La Colosa, una oportunidad de oro para el Tolima. (Consultado en <http://www.anglogoldashanti.com.co/saladeprensa/Presentaciones/PRESENTACION%20LA%20COLOSA%20FINAL.pdf>)
- AGA – Geingeniería - AP&A (2008). Estudio ambiental para la solicitud de sustracción de un área de la reserva central en el municipio de Cajamarca, departamento del Tolima proyecto de exploración minera. Resumen Ejecutivo. p, 5.
- AGA-Universidad Nacional-Sede Medellín. (2012). Monitoreo hidrogeológico en la fase de exploración de la mina La Colosa. Anglogold Ashanti. Medellín.
- Álvarez, D., Rueda, O., & Poveda, G. (2011). Hydroclimatic variability over the andes of Colombia associated with ENSO :a review of climatic processes and their impact on the on one of the Earth's most important biodiversity hotspots. *Climate dynamics* , 2233-2249.
- Ángel Huertas, A. E. (2012). Caracterización del comportamiento de pilas de roca en Minas de Oro - Análisis de caso y diseño de proyectos mineros en Colombia. Implicaciones ambientales. Universidad Nacional de Colombia.
- Armas, S. Hernández, J., Regalado, C. (2003). Evaluación de la retracción en suelos volcánicos cultivados y su relación con algunas propiedades físicas. Universidad de Florida, Departamento de Agricultura e Ingeniería Biológica. Estudios de la zona no saturada del suelo, Vol. 6. p. 125. 130
- Bakatula. E, (2009). Cyanide and cyanide complexes in the goldmine polluted land in the east and central rand goldfields, South Africa. Johannesburg, 2009. p. 106-107.
- Berger, B.R., Ayuso, R.A., Wynn, J.C., and Seal, R.R., 2008, Preliminary model of porphyry copper deposits: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008–1321, 55 p.
- Botero, G. (1945). Reconocimiento preliminar del yacimiento de Cinabrio “El Quindío”. Municipio de Cajamarca, Departamento del Tolima. Informe 496 Ingeominas.
- Buitrago, C. y Buenaventura, J. (1975). Ocurrencias minerales en la región central del Departamento del Tolima. Parte I: Oro y Plata. Informe 1672 Ingeominas.
- Cabrera, M. y Fierro, J. (2013). Impactos ambientales y sociales del modelo extractivista en Colombia. En Garay, L. J. et al. Minería en Colombia. Derechos, Políticas públicas y Gobernanza. Vol. 1. Contraloría General de la República. Bogotá.
- Chesworth, W. (Ed.). (2008). *Encyclopedia of Soil Science*. Dordrecht, Holanda: Springer. Recuperado el 1 de Enero de 2015, de [http://www.univpgri-palembang.ac.id/perpus-fkip/Perpustakaan/Geography/Geografi%20Tanah/\(Encyclopedia of Earth Sciences Series \) Ward Chesworth, Ward Chesworth-Encyclopedia of Soil Sciences-Springer\(2007\).pdf](http://www.univpgri-palembang.ac.id/perpus-fkip/Perpustakaan/Geography/Geografi%20Tanah/(Encyclopedia%20of%20Earth%20Sciences%20Series%20Ward%20Chesworth,%20Ward%20Chesworth-Encyclopedia%20of%20Soil%20Sciences-Springer(2007).pdf)

- Collins, D., Benalcazár, G., Page, W., 1981. Quaternary activity on the Palestina Fault zone, northwestern Colombia. *Revista CIAF*, VI (1-3), págs. 117-118, Bogotá.
- Cortolima. (2009). POMCA-Río Coello, Capítulo D-2.3 Hidrología superficial.
- Cuida, E. (2014). Caracterización geoquímica y mineralógica de las lodolitas oscuras de las formaciones Une y Chipaque en la cuenca del río Chuza, páramo de Chingaza. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Cunningham, C.G., Zappettini, E.O., Vivallo S., Waldo, Celada, C.M., Quispe, Jorge, Singer, D.A., Briskey, J.A, Sutphin, D.M., Gajardo M., Mariano, Diaz, Alejandro, Portigliati, Carlos, Berger, V.I., Carrasco, Rodrigo, and Schulz, K.J. (2008). Quantitative mineral resource assessment of copper, molybdenum, gold, and silver in undiscovered porphyry copper deposits in the Andes Mountains of South America: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1253, 282 p.
- Dold, B. (2003). Aguas ácidas: formación, predicción, control y prevención. *Minería* (309), 29 - 37.
- Eckenfelder, W. (2000). *Industrial Water Pollution Control*. Tercera Edición. McGraw - Hill.
- Fierro, Quintero & Cuida. (2014). Estudio geológico, geomorfológico y de aspectos hidrogeológicos para la declaración del Parque Natural Nacional Serranía de San Lucas. Parques Nacionales Naturales de Colombia.
- Fierro, J., & López, R. (2014). Aportes a la conceptualización del daño ambiental y del pasivo ambiental por minería. En: Contraloría General de la República. *Minería en Colombia: Daños Ecológicos y socio-económicos y consideraciones sobre un modelo minero alternativo*. Bogotá, 2012. p. 135- 136
- Fierro, J. (2012). Una aproximación sintética sobre impactos ambientales de la minería no legal. En *Minería en Colombia. Institucionalidad y territorio, paradojas y conflictos*, Vol 2. Bogotá: Contraloría General de la República.
- Garzón, T. (2008). Pórfido aurífero Colosa. In: XIII Congreso Latinoamericano de Geología, 29 Septiembre - 3 Octubre 2008, Lima.
- Gaviria, S., Sánchez, M., & Tangarife, A. (2013). Caracterización litológica e hidrogeoquímica en la Cuenca del Río Chuza, Páramo de Chingaza. En E. d. Bogotá, Páramos colombianos frente al Cambio Climático: calidad y sostenibilidad de suelos y agua potable para Bogotá. Bogotá.
- Gil, J. (2010), *Igneous Petrology of the Colosa Gold-rich Porphyry System (Tolima, Colombia)*. Arizona, Estados Unidos de América: The University of Arizona.
- Gill, R. (2015), *Chemical fundamentals of Geology and Environmental Geoscience*. Tercera edición. Wiley Blackwell.
- Goldfarb (2010), R. *Orogenic Gold Deposits: Geology, Exploration, and Global Patterns*. SEG International Exchange Lecturer.
- Gómez, H., 1991. La Paleomegacizalla Transversal de Colombia, Base para un Nuevo Esquema Geotectónico. *Revista CIAF*. Vol 12 (1): 49- 61. Bogotá.
- Gómez Tapias, J., Montes Ramirez, N., Nivia Guevara, A. y H. Diederix (2015). Atlas Geológico de Colombia. Servicio Geológico de Colombia. Bogotá
- Gramalote Colombia Limited – AngloGold Ashanti Colombia (2015). Estudio de impacto ambiental. Proyecto minero Gramalote TM 14292. www.anglogoldashanti.com.co
- Granados, D; López, G; & Hernández, M. (2010). La lluvia ácida y los ecosistemas forestales. *Revista Chapingo*. Serie ciencias forestales y del ambiente.
- Greystar Resource Ltd. (2009). Estudio de Impacto Ambiental - Proyecto Angostura.
- Hastenrath, S.
 - (2009). *Climate dynamics of the tropics* . United states.
 - (2009). *Dinámica del clima de los trópicos*.

- Hierro, A; Olñas, M; Cánovas, C.R; Martín, J.E; Bolívar, J.P. (2014). Trace metal partitioning over tidal cycle in an estuary affected by acid mine drainage (Tinto estuary, SW Spain). *Revista Science of the Total Environment*
- Hudson-Edwards, K., Jamieson, H. & Lottermoser, B. (2011) *Mine Wastes: Past, Present, Future. Elements*, V. 7, No. 6.
- ICOLD (2001) *Tailings dams risk of dangerous occurrences: lessons learnt from practical experiences*, Bulletin 121.
- Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales.
 - (2002). *Efectos naturales y socioeconómicos del fenómeno del Niño y La Niña en Colombia*. Bogotá: IDEAM.
 - (2007). *Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos del niño y la niña en Colombia*. Bogotá: IDEAM.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (1996). *Suelos Departamento del Quindío*. Santafé de Bogotá D.C.: Corporación Autónoma Regional del Quindío C.R.Q.
- Jaramillo, D. (2000). Efecto del secado de las muestras sobre la extracción selectiva de Fe y Al activos en andisoles del norte de la cordillera central colombiana. *Universidad Nacional de Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. Vól 53, No. 2..p 1077 -1090.
- Kokhanovsky. A. (2008). *Aerosol Optics: Light Absorption and Scattering by Particles in the Atmosphere*. University of Bremen. Bremen, Germany, 2008
- Leichliter, S. E. (2015, mayo). *Gold Department and Geometallurgical Model for the La Colosa, Porphyry Gold Deposit, Colombia (Abstract)*. Tasmania.
- Lötter. N, (2005). *Cyanide volatilisation from gold leaching operations and tailing storage facilities*. University of Pretoria. Pretoria, Republic of South Africa. November, 2005.p. 3
- Llorente. A. (2015a). *Política pública y acciones intersectoriales orientadas a la prevención y control de la contaminación atmosférica por material particulado en proyectos carboníferos a gran escala*. Agosto, 2015. p.9 [en línea]: http://www.colombiapuntomedio.com/Portals/0/Archivos2015/NuestrosDocumentos2015/Contaminaci%C3%B3n_atmosf%C3%A9rica.pdf
- Llorente. A. (2015b). *Problemática ambiental proyecto minero El Cerrejón. Municipios de Barrancas, Hatonuevo y Albania, departamento de La Guajira. Consultoría realizada para el Centro de Investigación y Educación Popular Programa por la paz. (CINEP - PPP)*. 5 de junio de 2015.
- MAVDT – IDEAM (2010). *Criterios técnicos para la evaluación ambiental, social y territorial de la Sabana de Bogotá y proponer la redefinición de zonas ambientalmente compatibles con la minería*. Informe interno.
- Mejía, E. (2012). *Características cinemáticas y condiciones de deformación de un segmento de la Falla Palestina al NE del Volcán Nevado del Ruiz*. Tesis de Maestría en Ciencias – Geología. Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.
- Menadier Stavelot, M. A. (2009). *Biolixiviación de piritas por Acidithiobacillus ferrooxidans y cepas nativas*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Mesa, O., & Poveda, G. (1996). *Las fases extremas del fenómeno ENSO (El niño y la niña) y su influencia sobre la hidrología Colombiana*. *Ingeniería hidráulica en México*, 21-37.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia - PCA Ingenieros Consultores S.A. (2012). *Auditoría Ambiental a las Operaciones Mineras Kori Kollo Empresa Minera Inti Raymi*. Informe Fase III Reporte Técnico.
- Molano, J. (2014). *Caracterización del oro en Colombia*. Presentación Sociedad Colombiana de Geología.
- Montealegre, J., & Pabón, D. (s.f.). *Interrelación entre ENOS y la precipitación en el noroccidente de sudamérica*. *ERFEN*, 12-31.
- Moran, R.E., 1998, *Cyanide Uncertainties: Mineral Policy Center Issue Paper No.1*, Wash. D.C

- Nordstrom, K. (2011). Mine Waters: Acidic to Circumneutral. Revista Elements. Vol. 7 (6)
- Organización Mundial de la Salud.
 - (2005). Guías de calidad del aire de la OMS relativas a material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. Actualización mundial 2005. Resumen de Evaluación a los riesgos. Ginebra, 2006.
 - (2006). Guías para la calidad del agua potable. OMS, Ginebra.
- Organon (2015). Impactos socioambientais da ruptura de barragem de rejeitos da Samarco no Espírito Santo. Relatório preliminar. Núcleo de Estudo Pesquisa e Extensão em Mobilizações Sociais. Universidad Federal do Espírito Santo.
- Osorio, J., Romero, J., Montes, N., Diederix, H., Velandia, F., Audemard, F., Acosta, J. & Nuñez, A. (2008). Publicaciones geológicas especiales de Ingeominas, No. 29 Paleosismología de la Falla de Ibagué.
- París, G., Machette, M., Dart, R. y Haller, K. (2000). Map and Database of Quaternary Faults and Folds in Colombia and its Offshore Regions. USGS Open-File Report 00-0284.
- Poveda, E., G. Monsalve, and C. A. Vargas (2015). Receiver functions and crustal structure of the northwestern Andean region, Colombia, J. Geophys. Res. Solid Earth, 120,
- Porta, J. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Mundi-Prensa Libros. Tercera Edición. 929 páginas
- Poveda, G., Jaramillo, A., Mantilla, R., Quiceno, N., & Gil, M. (2001). Seasonality in ENSO related precipitation, river discharges, soil, moisture, and vegetation in Colombia. Water resources research , 2169-2178.
- Relaves. (2015). Resumen: Informes de lodos y aguas residuales Región Atacama. Análisis preliminar situación Post - Aluvión III Región Atacama
- Rico, M., Benito, G., Salgueiro, A., Díez-Herrero, A. y H. Pereira. (2008a). Reported tailings dam failures A review of the European incidents in the worldwide context, Jour. of Hazar. Mat., 152(2008a), 846-852.
- Rico, M., Benito, G. y Díez-Herrero, A. (2008b). Floods from tailings dam failures, Jour. of Hazar. Mat., 154(2008b), 79-87.
- Romero Guzmán, M. A. (2014). Caracterización de la heterogeneidad y anisotropía de un medio fracturado y sus implicaciones hidrogeológicas usando prospección geoelectrica e información RQD. Medellín, Antioquia, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Skytruth (2015). Satellites Reveal Extent of Samarco Mine Disaster in Brazil. En línea: <http://skytruth.org/updated-satellites-reveal-extent-of-samarco-mine-disaster-in-brazil/>
- Sociedad Santandereana de Ingenieros- SSI. (2012) Bitácora de la visita exploratoria de la comisión delegada por la Sociedad Santandereana de Ingenieros en el Páramo de Santurbán. Información de campo y análisis de laboratorio
- SRK (2011). A NI43-101 Mineral resource estimate on the Marmato Project, Colombia. Prepared for Gran Colombia Gold Corp.
- Tapia, J. (2011). Anglogold Ashanti: La Colosa Site Visit November, 2011: Colombia. <http://www.anglogoldashanti.com/en/Media/Presentations/ColombiaInvestorSiteVisitLaColosaDay-2011.pdf> (Consultado el 25 de enero de 2016)
- The International Network for Acid Prevention - INAP. (2009). Global Acid Rock Drainage Guide (GARD Guide).
- Thornthwaite, J.
 - (1955). The water budget and its use in irrigation USDA. Yearbook of agriculture , 346-358.
 - (1957). Instruction and tables for computing potencial evapotraspiration and the water balance. New jersey: Laboratory of climatology.
- Thouret, J. & T. van der Hammen (1981). Una secuencia holocénica y tardiglacial en la Cordillera Central de Colombia. Aspectos geomorfológicos, pedológicos, palinológicos y paleo-

ecológicos en el área del Parque Nacional de los Nevados (Tolima, Risaralda). Revista CIAF, 6 (1-3). Bogotá.

- Threnberth, K. (1991). General characteristics of El niño southern oscillation . Cambridge university press , 13-42.
- Ugolini, F. Dahlgren, R. (2003). Soil development in volcanic ash. Asociación de Iniciativas Internacionales de investigación para el estudio del medio Ambiente. <http://ns.airies.or.jp/publication/ger/pdf/06-2-09.pdf>
- Ujueta, G., 1988. Lineamientos de Dirección NW – SE en la Cordillera Oriental de Colombia (sector Girardot – Cúcuta) y en los Andes Venezolanos. Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá. Trabajo para promoción a profesor titular.
- UNOPS (2015). Dossier informativo del estudio sobre la calidad de los cuerpos de agua en el área de influencia de la Mina Veladero, posterior al incidente ambiental del 13/09/15. Programa de fortalecimiento de las capacidades de gestión y control ambiental del Gobierno de la Provincia de San Juan.
- USGS (1999). Field Manual of Wildlife Diseases. General Field Procedures and Diseases of Birds. Milton Friend and J. Christian Franson, Technical Editors
- WHO/UNICEF. (2004). Monitoring programme for water supply and sanitation, coverage estimates for Ghana. World Health Organization, Accra.
- World Health Organization - WHO (2004). Hydrogen Cyanide And Cyanides: Human Health Aspects. Geneva, 2004. p. 6
- Zea, J., León, G., & Eslava, J. (2000). Circulación general del trópico y la zona de confluencia intertrópic en Colombia. Meteorología Colombiana , 31-38.
- Zhao, H., Beicheng, X., Jianqiao, Q., & Zhang, J. (2011). Hydrogeochemical and mineralogical characteristics related to heavy metal attenuation in a stream polluted by acid mine drainage: A case study in Dabaoshan Mine, China. Journal of Environmental Sciences, 979 - 989.